

Ein prozessorientierter Ansatz zur Qualitätssicherung des Asphalt-Prüfprozesses

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Thorsten Wolf
aus Diez

Darmstadt 2010

D 17

Ein prozessorientierter Ansatz zur Qualitätssicherung des Asphalt-Prüfprozesses

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Thorsten Wolf
aus Diez

Referenten: Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Stefan Bald
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg

Datum der Einreichung: 27. April 2010

Datum der Prüfung: 15. Juli 2010

Darmstadt 2010

D 17

Bitte zitieren Sie dieses Dokument als:

URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-22663

URL: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2266>

Dieses Dokument wird bereitgestellt von tuprints,
E-Publishing-Service der TU Darmstadt.

<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de>

tuprints@ulb.tu-darmstadt.de

Vorwort

Der frühzeitige Kontakt mit dem Baustoff Asphalt im Laboratorium, das Kennenlernen der Verarbeitungs- und Bauprozesse mit Asphalt und schließlich das wissenschaftliche Auseinandersetzen mit Qualitätsprüfungen während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehr, Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt der Technischen Universität Darmstadt, haben die vorliegende Arbeit geprägt.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Stefan Bald, der mir, vor Übernahme des Referats, die wissenschaftliche Freiheit und das Vertrauen gegeben hat, dieses Thema zu bearbeiten, mich zum interdisziplinären Denken forderte und mir als kritischer Diskussionspartner immer zur Verfügung stand.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg möchte ich sehr für seine so wichtige konstruktive und ermutigende Unterstützung bei der Fertigstellung der Arbeit und die Übernahme des Korreferats danken.

Weiterhin danke ich herzlich Herrn Dr.-Ing. Viktor Root. In den Jahren der Erstellung der Arbeit konnte ich zu jeder Tages- und Nachtzeit viele wertvolle Denkanstöße aus den zahlreich geführten Diskussionen gewinnen.

Die Erarbeitung wesentlicher Grundlagen dieser Arbeit erfolgte in einem Forschungsprojekt, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über das Deutsche Asphaltinstitut e.V., Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF). Mein Dank gilt dem projektbegleitenden Betreuungsausschuss, allen voran Herrn Dr.-Ing. Stefan Böhm, der als Projektleiter stets konstruktiver Ansprechpartner bei schwierigen Fragestellungen war.

Ebenso gebührt mein Dank allen Kolleginnen und Kollegen, den studentischen Hilfskräften am Fachgebiet Straßenwesen, sowie allen Wegbegleitern aus dem universitären Arbeitsumfeld, den Straßenbauverwaltungen und der Industrie, ohne deren aktiven fachlichen oder moralischen Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Nicht zuletzt danke ich meinen Freunden und meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die sich an angenehme Gespräche erinnern werden, die mich stets ermuntert haben, diese Arbeit erfolgreich abzuschließen. Dies konnte allerdings nicht ohne Entbehrungen erfolgen. Ich danke daher vom ganzen Herzen meiner Frau Nicole für ihr Verständnis, ihre Geduld sowie ihrer liebevollen und hilfreichen Unterstützung und meinen beiden Kindern Niklas und Sarah für deren Unbeschwertheit, die einem stets das Gefühl geben, das Richtige zu tun.

Kurzfassung

Die Qualitätskontrolle mit Durchführung bautechnischer Materialprüfungen erfolgt im Asphaltstraßenbau baubegleitend zu den Herstellprozessen. Die Tätigkeiten innerhalb der Prüfprozesse der Qualitätskontrolle sind vorrangig darauf ausgerichtet, technische Standards sicher einzuhalten. Doch sind zur Qualitätsfähigkeit der Prüfprozesse weitere Qualitätsmerkmale zu beachten, die sich auf Faktoren wie Mensch, Methode, Maschine und Milieu (Umwelt) beziehen. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es deshalb, die Qualitätsfähigkeit vorliegender Prüfprozesse zu untersuchen, das Verbesserungspotential aufzuzeigen und neue Konzepte zu entwickeln, die in einer Prüfplanung wirksam Anwendung finden können. Ein Prüfprozess der Qualitätskontrolle kann als qualitätsfähig angesehen werden, wenn mit bestehenden Qualitätsmerkmalen der Prüfstellen hohe Erfüllungsgrade vorhandener Kundenanforderungen erreicht werden können. Aus einer verknüpften Beziehungsmatrix mit Definition von Bedeutungsmaßen der Anforderungen konnte geschlossen werden, dass die Tätigkeiten der „Probenahme“ und der „Prüfungsdurchführung“ eine große Wirkung auf die wahrgenommene Qualität aller Prozessbeteiligten haben und einer prozesssicheren Gestaltung bedürfen. In den Prüfabläufen von Prüfprozessen wurden insbesondere in den Schnittstellenbereichen der Prozessbeteiligten Qualitätsdefizite in Form von Fehlern definiert, die im Ergebnis des Prüfprozesses zu einer Fehlerbeurteilung der Produktqualität führen können. Mit der Anwendung eines prozessorientierten Ansatzes, in dem alle Tätigkeiten und Ressourcen innerhalb der Prüfprozesse der Qualitätskontrolle aufeinander abzustimmen sind, wurden Lösungsvorschläge erarbeitet, die diese Qualitätsdefizite minimieren können. Aus einer zusammenfassenden Risikobewertung einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) lässt sich das Optimierungspotential der Prüfprozesse ableiten. Eine wesentliche Maßnahme, die das Auftreten von Fehlern minimieren kann, ist die Anwendung eines veränderten Probenahmeverfahrens beim Asphalteinbau. Mit dem Bohrkernverfahren besteht hierzu ein Probenahmeverfahren, mit dem repräsentative Asphaltmischgutproben gewonnen werden können, um die Qualität der fertigen Leistung in allen Prüfprozessen der Qualitätskontrolle einwandfrei zu beurteilen und aufgezeigte Qualitätsdefizite zwischen einer Prüfstelle und deren Auftraggeber zu verringern. Die Gleichwertigkeit konventioneller Probenahmeverfahren und dem Bohrkernverfahren wurden in der vorliegenden Arbeit an Prüfmerkmalen kennzeichnender Asphalte statistisch nachgewiesen. Ferner werden Handlungsempfehlungen zur Durchführung der Qualitätskontrolle, mit der Festlegung zulässiger Gesamttoleranzen, basierend auf laboranalytischen Ergebnissen gegeben, die eine einwandfreie Qualitätsbeurteilung der

Zusammensetzung von Asphaltmischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen ermöglichen. Die vorliegende Arbeit stellt einen prozessorientierten Prüfplan mit Probenahmekonzept, definierte Prüfprozessstrukturen und Qualitätskennzahlen zur Verfügung, die es jedem ermöglichen, die Wirksamkeit eigener Prüfplanungen zu bewerten und neue Ansätze der Qualitätssicherung von Asphalt-Prüfprozessen zu verfolgen.

Abstract

In asphalt road construction the quality control with execution of structurally engineered material testing goes along with the construction progress. The activities within the inspection processes of quality control are preferentially focused on securely adhering to technical standards. Apart from that, other quality characteristics are to be considered, such as the human being, method, machine and environment. Thus, the objective of the presented thesis was to analyze the quality capability of these inspection processes in order to point out the potential of improvements and to develop new concepts, which can effectively be applied in an inspection planning. An inspection process of quality control can be regarded as suitable if high degrees of compliance of customer requirements can be achieved with existing quality characteristics of testing laboratories. From a relation matrix, including a definition of significance of requirements, it could be concluded that the reliable activities „sampling“ and „testing“ have a high impact on the noticed quality of all parties involved. During the inspection processes, quality deficits were defined as nonconformities, particularly in the interface of parties involved, which can lead to misjudgments of the product quality as a result of the inspection process. With the application of a process approach, in which all activities and resources of the inspection process of quality control are to be coordinated, solution proposals, which can minimize these deficits, were compiled. With a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) the potential for optimization of inspection processes could be derived. A substantial measure, which can minimize nonconformities, is the application of a modified sampling procedure during the asphalt pavement progress. The drill core procedure is a sampling procedure, with which representative samples of bituminous mixtures can be obtained to evaluate the quality of the finished products in all testing processes of quality control and to reduce quality deficits between the testing laboratory and their client. In the provided thesis the equivalence of conventional sampling on testing characteristics of typical bituminous mixtures were statistically proven to the drill core procedure. Furthermore recommendations are given for the execution of quality control, including definitions of admissible tolerance, based on results of laboratory testing, in order to get an efficient evaluation of quality of bituminous mixtures out of heated-up cores. The presented thesis provides a process-orientated inspection plan, including a sampling concept, defined inspection process structures and quality indicators, which allow to evaluate the effectiveness of personal inspection planning and to pursue a new approach to quality assurance of the inspection process of bituminous mixtures.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einführung | 1 |
| 2 | Problemstellung und Zielsetzung..... | 2 |
| 2.1 | Problemstellung | 2 |
| 2.2 | Zielsetzung | 5 |
| 3 | Methodik und Aufbau..... | 6 |
| 4 | Grundlagen | 11 |
| 4.1 | Qualitätsmanagement..... | 11 |
| 4.1.1 | Qualitätsbegriff..... | 11 |
| 4.1.2 | Qualitätsmanagementsystem | 13 |
| 4.1.3 | Operative Aufgaben im Qualitätsmanagement..... | 15 |
| 4.1.4 | Prozesse..... | 17 |
| 4.1.5 | Qualitätscontrolling | 20 |
| 4.1.6 | Präventives Qualitätsmanagement..... | 23 |
| 4.2 | Qualitätsprüfungen im Asphaltstraßenbau..... | 28 |
| 4.2.1 | Entwicklung von Qualitätsprüfungen | 28 |
| 4.2.2 | Technische Regelwerke | 33 |
| 4.2.3 | Qualitätssicherungssystem in der Anwendung | 37 |
| 4.2.4 | Systematik der Qualitätskontrolle und Prüftechnik | 40 |
| 5 | Systemanalyse..... | 45 |
| 5.1 | Identifizierung der Qualitätsprüfungsprozesse..... | 45 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1.1 | Vorüberlegungen..... | 45 |
| 5.1.2 | Prozessbeteiligte | 47 |
| 5.1.3 | Qualitätsprüfungen im Regelkreis..... | 48 |
| 5.1.4 | Qualitätskontrolle im engeren Regelkreis der Qualitätssicherung..... | 51 |
| 5.2 | Anforderungen an den Prozess der Qualitätskontrolle..... | 53 |
| 5.2.1 | Kundenanforderungen..... | 53 |
| 5.2.2 | Expertenbefragung zur Ermittlung der Kundenbedürfnisse | 53 |
| 5.2.3 | Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen | 56 |
| 5.3 | Prozessanalyse und Risikobewertung der Qualitätskontrolle..... | 59 |
| 5.3.1 | Allgemeines..... | 59 |
| 5.3.2 | Prozessstruktur der Qualitätskontrolle..... | 60 |
| 5.3.3 | Merkmalstruktur der maßgeblichen Prozesselemente | 67 |
| 5.3.4 | Expertenbefragung zum Aufbau einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)..... | 69 |
| 5.3.5 | Fehleranalyse der maßgeblichen Prozesselemente | 70 |
| 5.3.6 | Risikobewertung..... | 71 |
| 5.3.7 | Optimierungsbedarf der Qualitätskontrolle | 75 |
| 6 | Konzeptionelle Möglichkeiten zur Optimierung der Qualitätskontrolle | 80 |
| 6.1 | Allgemeines | 80 |
| 6.2 | Probenahmeverfahren..... | 82 |
| 6.2.1 | Verfahren zur Probenahme von Asphaltmischgut | 82 |
| 6.2.2 | Verfahren zur Entnahme von Bohrkernen | 86 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.3 | Qualitätskontrolle an Asphaltmischgutproben..... | 87 |
| 6.3.1 | Allgemeines..... | 87 |
| 6.3.2 | Anwendung manueller Probenahmen an Untersuchungsstrecken..... | 88 |
| 6.3.3 | Auswerteverfahren der Untersuchungen..... | 90 |
| 6.3.4 | Bewertung manueller Probenahmeverfahren..... | 94 |
| 6.4 | Qualitätskontrolle an Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne | 97 |
| 6.4.1 | Allgemeines..... | 97 |
| 6.4.2 | Anwendung der Bohrkernentnahmen an Untersuchungsstrecken..... | 97 |
| 6.4.3 | Auswerteverfahren der Untersuchungen..... | 99 |
| 6.4.4 | Bewertung von Bohrkernentnahmen für Untersuchungen | |
| | an Asphaltmischgut | 99 |
| 6.5 | Vergleichbarkeit von Untersuchungen an Asphaltmischgut und | |
| | Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne | 101 |
| 6.5.1 | Allgemeines..... | 101 |
| 6.5.2 | Einflüsse auf das Ergebnis der Qualitätskontrolle | 102 |
| 6.5.3 | Quantifizierung maßgeblicher Einflüsse | 103 |
| 6.5.4 | Bewertung von Ergebnissen an Mischgut wiedererwärmter | |
| | Bohrkerne | 105 |
| 7 | Entwicklung eines prozessorientierten Prüfplans..... | 108 |
| 7.1 | Allgemeines..... | 108 |
| 7.2 | Qualitätssichernde Maßnahmen | 108 |
| 7.3 | Prüfplan..... | 111 |
| 7.3.1 | Prüfablaufplan | 111 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.3.2 | Prüfspezifikation und Prüfanweisung | 113 |
| 7.3.3 | Probenahmeplan der Qualitätskontrolle | 115 |
| 8 | Wirksamkeit des prozessorientierten Prüfplans..... | 119 |
| 8.1 | Gebrauchstauglichkeit des Probenahmekonzepts..... | 119 |
| 8.2 | Beurteilung qualitätssichernder Maßnahmen des Prüfplans..... | 122 |
| 8.3 | Verbesserter Zustand der Qualitätskontrolle | 125 |
| 9 | Schlussfolgerungen und Empfehlungen..... | 127 |
| 9.1 | Folgerungen für die Durchführung von Qualitätskontrollen..... | 127 |
| 9.2 | Handlungsempfehlungen zur Durchführung der Qualitätskontrolle..... | 130 |
| 9.2.1 | Beurteilung von Prüfergebnissen an Mischgut | |
| | wiedererwärmter Bohrkern | 130 |
| 9.2.2 | Prüfstrategie unter bauvertraglichen Aspekten | 133 |
| 10 | Zusammenfassung und Ausblick | 136 |
| | | |
| A - 1 | Literaturverzeichnis | 142 |
| A - 2 | Verzeichnis der Abbildungen..... | 149 |
| A - 3 | Verzeichnis der Tabellen..... | 151 |
| A - 4 | Verzeichnis der wichtigsten Abkürzungen..... | 153 |
| A - 5 | Verzeichnis der Anlagen..... | 155 |

1 Einführung

Die Qualitätssicherung im Asphaltstraßenbau besteht in Deutschland aus einem weitestgehend festgelegten System, im Wesentlichen geprägt aus Erfahrungen, die mit den Anfängen in den 60er Jahren und über Folgejahre hinweg in der täglichen Praxis gesammelt werden konnten. Diese Erfahrungen sind dokumentiert und bilden heute mit aktuellem Wissen ein Grundgerüst des Technischen Regelwerks. Im Bereich des Asphaltstraßenbaus ist auf nationaler Ebene grundlegend die Bauproduktenrichtlinie zu nennen, die eine Vielzahl von Einzelregelungen zu technischen Spezifikationen und Zulassungen enthält, um den Herstellern den Zugang zu einem einheitlichen Binnenmarkt zu ermöglichen. Im Vergabe- und Vertragswesen ist die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) [2006] elementar, da diese das Vergabegeschehen (VOB/A) und die Allgemeinen Vertragsbedingungen (VOB/B) sowie die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (VOB/C) beinhaltet. Im Asphaltstraßenbau werden aufgrund der Vielzahl öffentlicher Aufträge durch haushaltsrechtliche Vorschriften die VOB/B und VOB/C in Bauverträgen vereinbart. Die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen werden mit Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ergänzt, die sich im Straßenbau durch zahlreiche Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV), Technische Prüfvorschriften (TP) und Technische Lieferbedingungen (TL) widerspiegeln.

In diesem System haben bautechnische Prüfungen eine elementare Funktion, da diese für das fertige Produkt Straße innerhalb der Qualitätsplanung, -lenkung und -prüfung zur Sicherung der Produktqualität beitragen. Das Gütesicherungssystem besteht hierbei im Wesentlichen aus Erstprüfungen und Eignungsnachweisen, Werkseigene Produktionskontrollen und Zertifizierung (Eigen- und Fremdüberwachungen) sowie aus Kontrollprüfungen. Ein einzelner Prüfprozess, der als Unterstützungsprozess einen Beitrag zur Wertschöpfung leistet, bildet eine wesentliche Schnittstelle zwischen allen Partnern einer zu erbringenden Bauleistung. Im Laufe der Jahre wurde erkannt, dass Partner wie Bauherren, Bauausführende, Hersteller und Prüfstellen eigene Systeme installieren müssen, um die gesamte Prozesskette vom Lieferanten bis zum Kunden zur Erfüllung ihrer Bedürfnisse beherrschen zu können. Die so entwickelten Qualitätsmanagementsysteme nehmen die Prüfungen der Qualitätssicherung als Elemente der Qualitätsprüfung auch zur Bewertung ihrer Prozesse auf. Es ist jedoch fraglich, ob Prüfprozesse, die vorrangig das Einhalten technischer Standards sichern, nicht selbst unter Anwendung eines prozessorientierten Ansatzes zu mehr Effizienz geleitet werden können.

2 Problemstellung und Zielsetzung

2.1 Problemstellung

Eine zu erbringende Bauleistung am Beispiel eines Straßenoberbaus in Asphaltbauweise zeigt, dass von der Planung bis zur Fertigstellung und anschließender Nutzung einer Straße viele Prozessschritte durchlaufen werden müssen. Ziel aller Prozessbeteiligten ist es, was an dieser Stelle vorausgesetzt werden muss, eine Asphaltstraße hoher Qualität herzustellen. Es ist jedoch bei einer Straße nicht von einem Serienprodukt auszugehen, obgleich die wesentlichen Zuschlagstoffe wie Gesteinskörnungen und Bitumen aus prozessgesicherten Produktionen stammen müssen.

Die Qualität des Produkts „Asphaltstraße“, dies kann eine Asphaltschicht aber auch ein System von Asphaltschichten sein, wird nach einem individuellen Prozess der Planung, Ausschreibung und Vergabe maßgeblich von der Baustoffauswahl, der Herstellung, dem Transport und dem Einbau beeinflusst. An die eingesetzten Baustoffe werden daher besondere Anforderungen gestellt, die am fertigen Produkt mit Durchführung von Kontrollprüfungen auf das Einhalten der Anforderungen gemäß Technischen Regelwerk überprüft werden können.

Wesentliche Bestandteile der Qualitätsorganisation sind jedoch auch qualitätsplanende und -lenkende Elemente, die mit Erstprüfungen und Eignungsnachweisen bzw. Eignungsprüfungen und Eigenüberwachungsprüfungen den Herstellungsprozess einer Straße in einem frühen Stadium überwachend begleiten. Ein Qualitätskonzept mit umfangreichen Produktprüfungen bedeutet, dass eine gute Kommunikation zwischen allen Partnern unerlässlich ist, um nicht durch Informationsdefizite Einbußen in der Qualität des Produktes zu erhalten. Der prozessorientierte Gedanke des Qualitätsmanagements, sofern er bei den Partnern wie Bauherren, Bauausführende, Lieferanten und Prüfstellen gelebt wird, hilft in den Schnittstellenbereichen der Beteiligten bei der Herstellung der Straße, das Risiko Fehler zu begehen, zu minimieren bzw. die Wahrscheinlichkeit zur Entdeckung von Fehlern zu erhöhen. Falls Fehler mit Beginn der Herstellung unentdeckt bleiben, so kann dies zurückgeführt werden auf:

- Fehlen von prozessorientierten Qualitätsmanagementsystemen aller Partner,
- Versagen der Qualitätsplanung und -lenkung
(Eignungsnachweis/Eignungsprüfung, Eigenüberwachung),

- Versagen der Qualitätskontrolle (Kontrollprüfung).

Die Kontrollprüfung kann bei der Fertigstellung des Produkts „Asphaltstraße“ als Endprüfung angesehen werden, deren Ergebnisse nach den ZTV Asphalt [FGSV, 2001/2007] die Grundlage für die Abnahme und Abrechnung der Produkte bildet.

Falls andere Vertragsformen wie Funktionsbauverträge dem Bau einer Asphaltstraße zugrunde liegen sollten, wird die herkömmliche Kontrollprüfung eine andere Stellung einnehmen müssen. Die Prüfung, die in einem veränderten Ablauf durchzuführen sein wird, muss ebenfalls prozesssichere Elemente enthalten.

Werden mögliche Fehler bei Kontrollprüfungen nicht festgestellt, sollten entweder die anzuwendenden Prüfverfahren hinsichtlich Ihrer Aussagefähigkeit hinterfragt oder der Prüfprozess auf seine Prozessfähigkeit untersucht werden. Es muss daher die Frage gestellt werden, ob eine Kontrollprüfung nach bestehendem System den Ansprüchen einer Qualitätsprüfung genügen kann.

Die mit der Kontrollprüfung erkannten Mängel im Produkt können in der Regel nicht mehr beseitigt werden. In diesen Fällen ist zu beobachten, dass die Prüfergebnisse ausschließlich mit den vertraglichen Anforderungswerten beurteilt werden, ohne dass Randbedingungen und mögliche Fehler aus den Abläufen des Produktionsprozesses bei der Beurteilung der Ergebnisse Beachtung finden können.

Als Mängel gelten unzulässige Abweichungen, die sich in den Kontrollprüfungsergebnissen in der Nichterfüllung von Anforderungen widerspiegeln. Hierbei werden vorgegebene Grenzwerte des Technischen Regelwerks über- oder unterschritten. In diesen Fällen gelten, wenn vereinbart, die Technischen Regelwerke [VOB/B, 2006], [ZTV Asphalt, 2001/2007]. Bevor es zu Mängelbeseitigungen seitens des Auftragnehmers kommt oder dieser Abzüge für das Nichteinhalten von Grenzwerten akzeptiert, werden in vielen Fällen erneut Kontrollprüfungen durchgeführt. Diese können darin begründet sein, dass:

- das Ergebnis einer Kontrollprüfung nicht kennzeichnend für die ganze zugeordnete Fläche ist (Zusätzliche Kontrollprüfungen) [ZTV Asphalt, 2001/2007],
- begründete Zweifel an der sachgerechten Durchführung der Kontrollprüfung bestehen (Schiedsuntersuchungen) [ZTV Asphalt, 2001/2007].

Die Anwendungen dieser Prüfungen verdeutlichen, dass nicht nur Mängel in der Bauausführung zu beklagen sind, sondern auch Prozessunsicherheiten im Prüfablauf

bestehen können. Die Prozessunsicherheiten können zunehmen, wenn nicht entdeckte Fehler innerhalb der Verjährungsfrist als Mangel des fertigen Produktes „Asphaltstraße“ auftreten und diese mit der Durchführung von erneuten Kontrollprüfungen nachträglich quantifiziert werden.

Die Annahme, dass Fehler bei der Durchführung von Kontrollprüfungen auftreten, führt dazu, dass die Kosten für die Qualitätsprüfung progressiv steigen können, ohne dass die erbrachte Leistung adäquat beurteilt werden kann. Mit fortschreitender Produktentwicklung von der Herstellung der Straße bis hin zur Nutzung nimmt die Beeinflussbarkeit der Qualität ab. Daher sind auch von allen Partnern in einer frühen Phase der Produktentwicklung Maßnahmen zu ergreifen, um keine Qualitätseinbußen zu erlangen. Dieser Zusammenhang wird in der Abbildung 2.1 verdeutlicht.

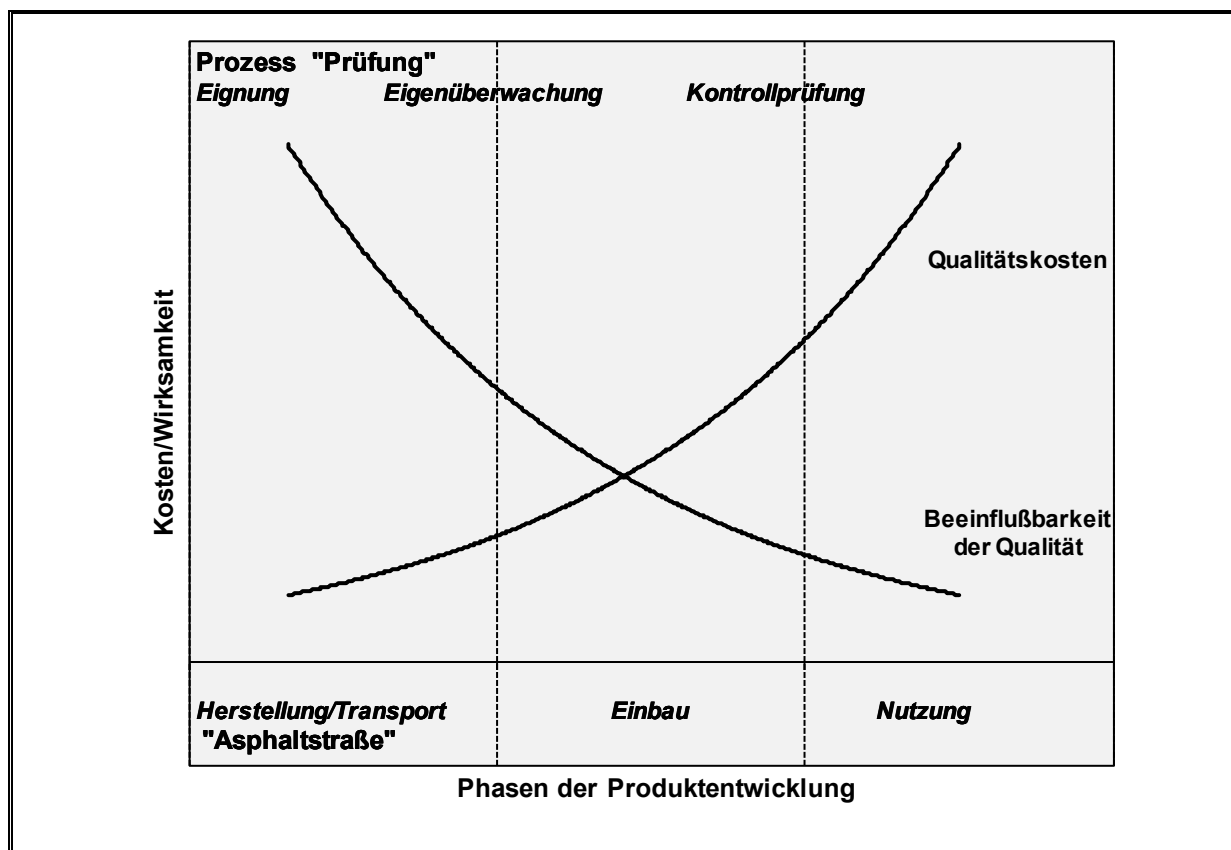


Abbildung 2.1: Kosten und Beeinflussbarkeit der Qualität

Negative Ergebnisse weiterer Prüfungen werden in vielen Fällen mit vorausgehenden fehlerhaften Probenahmen begründet. Hieraus können

ungerechtfertigte Mängelanzeigen resultieren, die nicht nur den Auftragnehmer, sondern auch den Lieferanten betreffen, da in Kontrollprüfungen auch Parameter überprüft werden, die bei Nichtkonformität mit den Anforderungen durch den Auftragnehmer an seinen Lieferanten weitergereicht werden können.

Erfahrungen aus der Baupraxis belegen, dass Streitfälle um Prüfungen, verbunden mit der Beweisführung von Fehlern, große Hindernisse für weitere Partnerschaften zur Produktrealisierung darstellen. In diesen Fällen kann selbst ein vorbeugendes Qualitätsmanagement das Vertrauen der Partner nicht wieder herstellen.

2.2 Zielsetzung

Das Streben nach einer kontinuierlichen Qualitätsverbesserung innerhalb des bestehenden Systems zur Gütesicherung im Asphaltstraßenbau ist notwendig, um den Nutzen aller Interessenspartner zu erhöhen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen hierzu vorhandene Schwachstellen innerhalb der Prüfprozesse aufgezeigt und bewertet werden. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt hierbei in dem Prüfprozess der Qualitätskontrolle. Es ist aufzuzeigen, ob die Qualitätskontrolle im Verständnis des bestehenden Qualitätssicherungssystems im Asphaltstraßenbau dem Anspruch einer Qualitätsprüfung gerecht wird.

Die Entwicklung neuer Konzepte zur Durchführung der Kontrollprüfung bietet die Möglichkeit auch abseits von spezifizierten Qualitätsforderungen Methoden zu definieren, die einen fehlerfreien Ablauf der Prüfung gewährleisten und zur Effizienz aller beteiligten Prüfprozesse beitragen.

Neben der Prozessanalyse und der Entwicklung neuer Konzepte ist ein wichtiger Teil dieser Arbeit zu bewerten, welchen Einfluss veränderte Methoden auf die Ergebnisse der Prüfungen haben können. Daher müssen diese Methoden erprobt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit überprüft werden.

Es sollen Verfahren, Methoden und auch Bewertungsmaßstäbe zur Verfügung gestellt werden, die es jedem Interessenspartner ermöglichen, die Prozessfähigkeit eigener Prüfplanungen zu untersuchen. Ferner sollen Empfehlungen zur Durchführung von Kontrollprüfungen in bauvertraglichen Konstellationen gegeben werden.

3 Methodik und Aufbau

In der Abbildung 3.1 wird die methodische Vorgehensweise der Arbeit aufgezeigt.

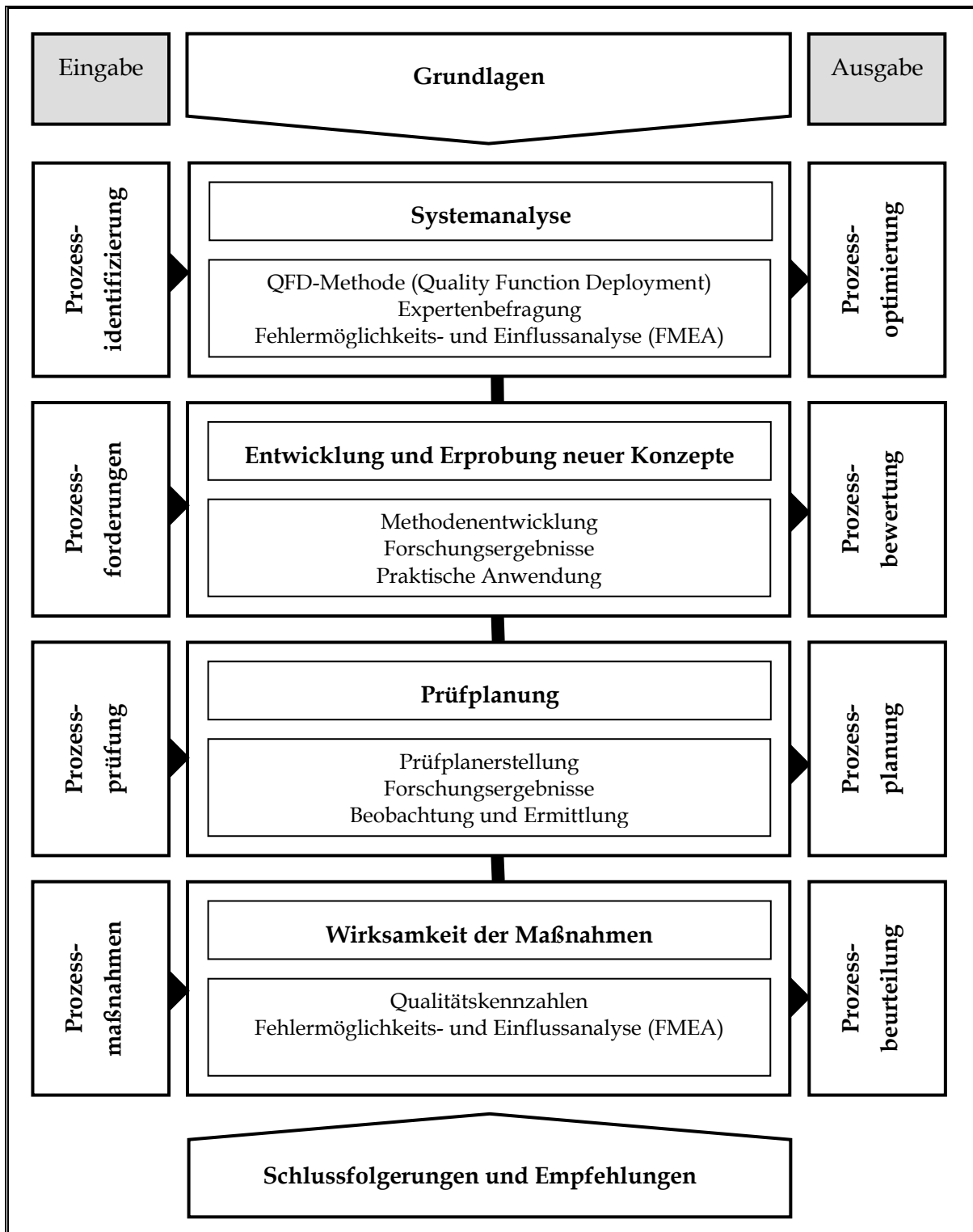


Abbildung 3.1: Methodische Vorgehensweise der Arbeit

Die Arbeit ist in sechs unterschiedliche und aufeinander aufbauende Teile gegliedert. Den einzelnen Arbeitsschritten werden in der Abbildung 3.1 die angewendeten Methoden und die prozessorientierten Informationen „Eingabe“ und „Ausgabe“ zugeordnet.

Der erste Teil der vorliegenden Arbeit dient dazu **Grundlagen** zu erörtern, die einen Überblick über integratives Qualitätsmanagement und Qualitätsprüfungen im Straßenbau geben. Einleitend werden Qualitätsbegriffe definiert, die für das Verständnis der Arbeit wesentlich sind. Es werden weiterhin Besonderheiten des präventiven Qualitätsmanagements erläutert und analytische Methoden aufgezeigt, die in der Gestaltung und Optimierung von Prozessen zur Anwendung kommen können. Die Bedeutung der Qualitätsprüfung wird als operative Aufgabe in der Qualitätssicherung und in ihrer Anwendung im Asphaltstraßenbau vorgestellt. Die Literaturstudie fasst hierzu die Entwicklung der Qualitätsprüfungen im Asphaltstraßenbau chronologisch zusammen und zeigt den Status des bestehenden Qualitätssicherungssystems in ihrer Systematik auf. Die Quellen, die dieser Arbeit zur Verfügung standen, waren vor allem Lehrbücher, Fachzeitschriften, Forschungsarbeiten und das bestehende Technische Regelwerk.

Im zweiten Teil dieser Arbeit werden bestehende Prüfprozesse im Asphaltstraßenbau analysiert und die maßgeblichen Qualitätsdefizite, die im Prozessablauf bei Durchführung der Qualitätskontrolle im Asphaltstraßenbau auftreten können, ermittelt. Es ist Teil der **Systemanalyse** die identifizierten Prüfprozesse im Regelkreis der Qualitätssicherung darzustellen und zu definieren. Die Prozesse „Kontrollprüfung“, „Zusätzliche Kontrollprüfung“ und „Schiedsuntersuchung“ werden strukturiert und in ihren Prozessschritten mit den in Wechselwirkung stehenden Prozessen der Qualitätssicherung beschrieben. Die Sichtweisen der Qualität zwischen Kunde und Anbieter, die das integrative Qualitätsmanagement kennt, werden in diesem Teil der Arbeit auf Prüfprozesse des Asphaltstraßenbaus projiziert. In den Prüfprozessen im Asphaltstraßenbau ist zu beobachten, dass Bedürfnisse und Erwartungen von Kunden nicht hinreichend beachtet werden. Es ist daher zu untersuchen, inwieweit bisher nicht definierte Kundenbedürfnisse in Prüfprozessen bestehen und Kundenanforderungen durch den Anbieter der Dienstleistung bzw. einer Prüfstelle erfüllt werden können. Die Anwendung der QFD-Methode (Quality Function Deployment) ermöglicht hierbei die Beziehung zwischen Kundenanforderungen und noch zu ermittelnden Qualitätsmerkmalen herzustellen und deren Bedeutung für die Qualitätsfähigkeit der Prüfprozesse abzuleiten. Im Mittelpunkt weiterer Betrachtungen stehen vor allem die Qualitätsmerkmale, die eine große Bedeutung für die Erfüllung

vorhandener Kundenanforderungen haben.

Die ausgewählte QFD-Methode wird als anerkannte Methode des präventiven Qualitätsmanagements in dem Grundlagenkapitel detailliert beschrieben. Zur Ermittlung von Kundenbedürfnissen und Qualitätsmerkmalen werden ferner Kreativitätstechniken wie das „Mind-Mapping“ eingesetzt und eine Expertenbefragung durchgeführt.

Der Schwerpunkt der Systemanalyse bildet die Durchführung einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA). Mit Anwendung dieser systematischen Methode „System FMEA Prozess“ werden aus den beschriebenen Prozessschritten Fehlfunktionen mit Folgen und Ursachen der Fehler dokumentiert und bewertet. Die Einflussgrößen für die Funktions- und Fehleranalyse werden mit den Methoden „Literaturstudie“ und „Expertenbefragung“ ermittelt. Die umfangreiche Aufbereitung von Daten wird in Ursache-Wirkungs-Diagramme strukturiert.

Die FMEA ist eine Methode des aktiven Risikomanagements, deren Ergebnis die Risikobewertung von Prozessen darstellt. Aus der Risikobewertung lassen sich erstrangige Ansatzpunkte für Prozessoptimierungen definieren. Die Kennzahlen dieser Bewertung können jedoch nicht als absolute Kennzahlen betrachtet werden, obwohl sie objektiven Einschätzungen, in dieser Arbeit aus Datenanalysen mit dem univarianten Verfahren einer Häufigkeitsverteilung, unterliegen. Die Auswertung der Risikokennzahlen der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) ermöglicht hingegen, erstrangige Ansatzpunkte zur Prozessoptimierung zu definieren. Eine Dokumentationsgrundlage für eine über diese Arbeit hinausgehende kontinuierliche Qualitätsverbesserung von Prüfprozessen wird geschaffen.

Zur Durchführung von Expertenbefragungen kommen verschiedene Befragungsarten in Betracht. Die persönliche Befragung hat gegenüber anderen Befragungsarten, wie die schriftliche Befragung Vorteile. Das Thema kann klar und verständlich näher gebracht werden und Missverständnisse werden vermieden. Eine offene Kommunikation unter Zusicherung von Anonymität, mit direkter Rückmeldung der Befragten, bietet die Möglichkeit, bei sensiblen Themenbereichen eine repräsentative Stichprobe zu erhalten. Die Zielsetzung einer Befragung besteht darin, differenzierte Stellungnahmen zu erhalten und keine Assoziationen der Befragten vorweg zu nehmen. Sie muss daher vorbereitet und anhand eines Leitfadens durchgeführt werden. Der Leitfaden ist vorweg hinsichtlich seiner Validität und Reliabilität zu untersuchen. Als Experte wird im Speziellen betrachtet, wer im Bereich der

Qualitätskontrolle auf Kunden- und Anbieterseite Verantwortung trägt und mit der Durchführung von Qualitätskontrollen vertraut ist.

Im dritten Teil dieser Arbeit werden neue **konzeptionelle Möglichkeiten bei Durchführung von Qualitätskontrollen** entwickelt. Mit möglichen Prozessveränderungen bestehender Prüfprozesse ist zu erörtern, ob Forderungen nach Prozessverbesserungen umsetzbar sind. Eine Grundlage hierfür bildet das Forschungsprojekt „Kontrollprüfungen mit Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen“, das im Rahmen der eigenen Tätigkeit am Fachgebiet Straßenwesen der Technischen Universität Darmstadt selbst bearbeitet worden ist. Innerhalb dieses Forschungsprojekts wurden Erfahrungen zu Kontrollprüfungen mit Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen zusammengetragen und an Untersuchungsstrecken baubegleitend Qualitätskontrollen durchgeführt. Es wurden verschiedene Probenahmeverfahren zur Gewinnung von Proben für die Ermittlung der Asphaltmischgutzusammensetzung angewandt und deren Auswirkung auf die Prüfergebnisse ermittelt.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes sind für die Bewertung von Qualitätskontrollen von großer Relevanz, da Prüfergebnisse an Asphaltmischgutproben wiedererwärmter Bohrkern mit Prüfergebnissen an Proben aus noch nicht eingebautem Asphaltmischgut in der Praxis nahezu gleichgesetzt werden, obwohl eine Vergleichbarkeit dieser Proben nicht nachgewiesen ist. Die Forschungsergebnisse labortechnischer Untersuchungen des Forschungsprojektes und die bei Durchführung von Qualitätskontrollen gewonnenen Erkenntnisse und Beobachtungen liefern Ansätze für Veränderungen in Prozessabläufen, die hinsichtlich der Prozessfähigkeit der Qualitätskontrolle zu bewerten sind. Die konzeptionellen Möglichkeiten zur Optimierung der Qualitätskontrolle werden mit Datenanalysen und umfangreichen Literaturstudien erarbeitet.

Ein **prozessorientierter Prüfplan** wird im vierten Teil der Arbeit aus eigenen Überlegungen und dem Wissen aus Literaturstudie und Forschungsergebnissen, basierend auf den Grundsätzen des Qualitätsmanagements, erstellt. Es werden qualitätssichernde Maßnahmen und neue Konzepte integriert, die eine prozesssichere Durchführung der Qualitätskontrolle ermöglichen können. Die Prüfplanung in diesem Teil der Arbeit soll die Grundlage dafür legen, bestehende Prüfpläne der Qualitätskontrolle im Asphaltstraßenbau neu auszurichten.

Im fünften Teil der Arbeit wird die **Wirksamkeit des prozessorientierten Prüfplans** bewertet. Es ist aufzuzeigen, dass mit Umsetzung qualitätssichernder Maßnahmen und neuer Konzepte, der optimierte Prozess der Qualitätskontrolle aufrechterhalten werden kann und wirksam hinsichtlich der geforderten Ergebnisse ist. Die Gebrauchstauglichkeit der Konzepte wird bewertet. Mit der Definition von Qualitätskennzahlen zur Beurteilung von Prüfprozessen der Qualitätskontrolle wird die Grundlage für eine messbare Prüfplanung geschaffen.

Im letzten Teil der Arbeit werden aus den analytisch aufbereiteten Ergebnissen **Schlussfolgerungen** gezogen. Die Ergebnisse werden hinsichtlich der praktischen Umsetzung in einer Fallbetrachtung möglicher vertraglicher Konstellationen erörtert. **Empfehlungen** zur Durchführung von prozessoptimierten Qualitätskontrollen werden gegeben.

Das letzte Kapitel fasst alle Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen, um einen kontinuierlichen Qualitätsverbesserungsprozess anzuregen.

4 Grundlagen

4.1 Qualitätsmanagement

4.1.1 Qualitätsbegriff

Im Qualitätsmanagement wird „Qualität“ nach DIN EN ISO 9000 [Beuth, 2001] definiert als:

„ Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt“

Die Deutsche Gesellschaft für Qualität (DGQ) [2002] definiert Qualität als eine realisierte Beschaffenheit einer Einheit bezüglich der Qualitätsforderungen. Der Begriff „Qualität“ kann zusammen mit den Adjektiven „schlecht“, „gut“ oder „ausgezeichnet“ verwendet werden. Eine Einheit kann eine Tätigkeit, ein Prozess, ein Produkt, eine Organisation, eine Person, ein System oder irgendeine Kombination daraus sein. Eine Einheit kann materieller oder wie eine Dienstleistung immaterieller Art sein. [DGQ, 2002]

SEGHEZZI [2003] definiert Qualität als Beschaffenheit, die an Bedürfnissen und Erwartungen gemessen wird. Werden Bedürfnisse und Erwartungen erfüllt, liegt ein Nutzen vor. Jedoch lassen sich Bedürfnisse und Erwartungen von Kunden nicht einfach spezifizieren, da diese Anforderungen einem Wandel unterworfen sind. Die Messlatte „Bedürfnisse und Erwartungen“ ändert sich und ist zudem abhängig von der jeweiligen Anspruchsgruppe. Der Qualitätsbegriff lässt sich als ganzheitlich, subjektiv und relativ charakterisieren.

Liegen jedoch Spezifikationen vor, die die Qualität einer Leistung mit Merkmalen eindeutig und hinreichend beschreiben können, sind nicht die Bedürfnisse und Erwartungen der Anspruchsgruppe das Ziel, sondern die Einhaltung der Spezifikationen mit niedergelegten Anforderungen. Sobald eine Nichteinhaltung solcher Spezifikationen vorliegt, zeigt SEGHEZZI [2003] in diesem Fall auf, kann Qualität neben dem Nutzen auch durch Fehler in Form von Nichtkonformität bestimmt werden. Fehler aus Nichtkonformität lassen sich leicht charakterisieren, beinhalten jedoch die Gefahr, dass sie aus Spezifikationen resultieren, die nicht auf dem aktuellen Stand sind und somit nicht den Bedürfnissen und Erwartungen der Anspruchsgruppen entsprechen.

Das von SEGHEZZI und HANSEN entwickelte Modell [SEGHEZZI, 1993] der Abbildung 4.1 verdeutlicht den Qualitätsbegriff zwischen Kunde und Anbieter in einem

Qualitätskreis. Ausgehend von den Erwartungen des Kunden werden in den wesentlichen Übergängen und Schnittstellen mögliche Qualitätsdefizite aufgezeigt. Ziel eines operativen Qualitätsmanagements ist es, diese Schnittstellen zu optimieren.

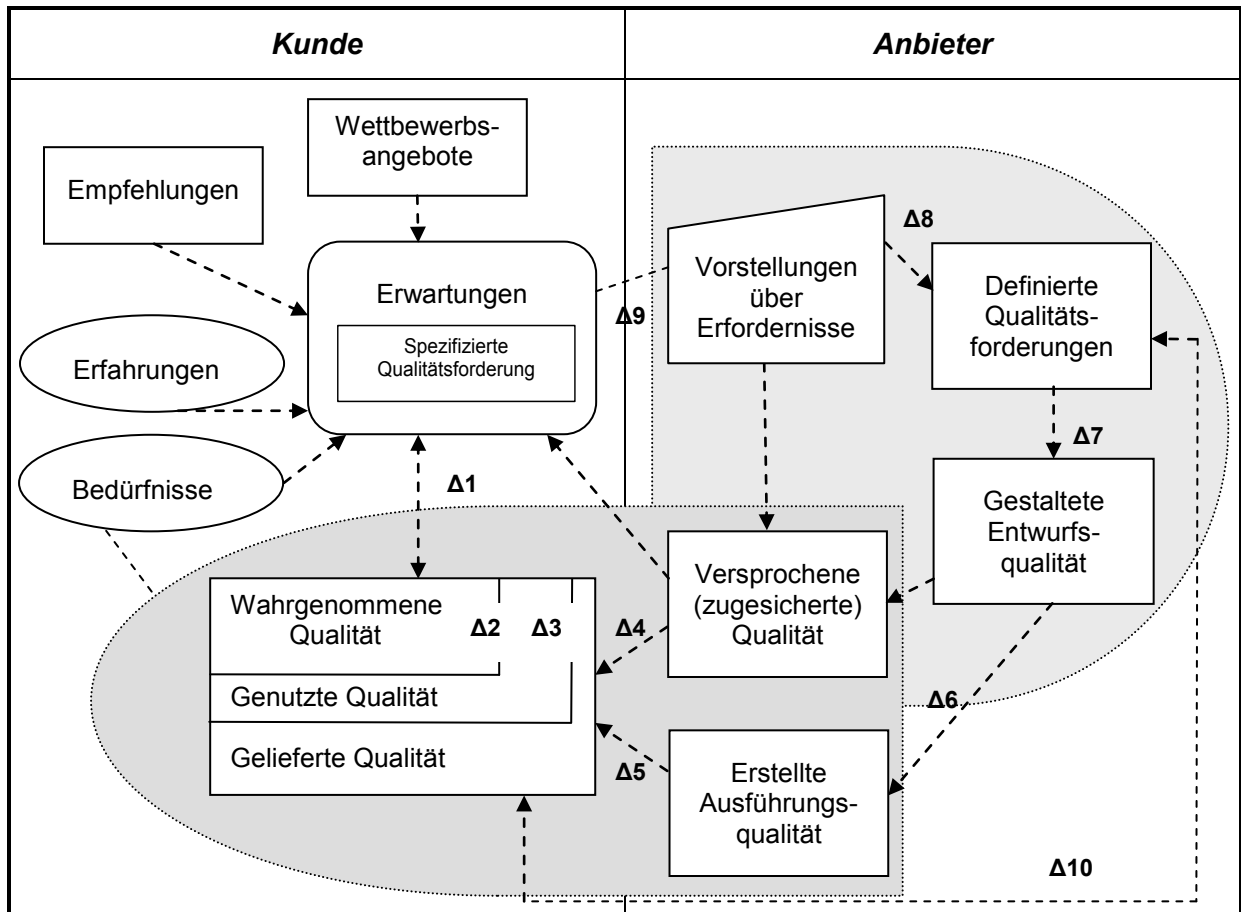


Abbildung 4.1: Beurteilung der Qualität in Anlehnung an SEGHEZZI und HANSEN [SEGHEZZI, 1993]

Die Schnittstelle 1 ($\Delta 1$) ist die vom Kunden wahrgenommene Qualität, gemessen an seinen Erwartungen. Der Kunde ist nur dann zufrieden, wenn an dieser Schnittstelle kein Qualitätsdefizit auftritt. Die Schnittstellen 2 bis 6 ($\Delta 2$ - $\Delta 6$) sind dem Bereich der Qualitätslenkung zuzuordnen, was bei Produkten dem Bereich Produktion und Vertrieb entspricht. Die Schnittstellen 7 bis 10 ($\Delta 7$ - $\Delta 10$) fallen in den Aufgabenbereich der Qualitätsplanung, entsprechend der Produkt- und Prozessentwicklung.

Der Begriff „Qualität“ basiert nach Garvin auf verschiedenen Blickrichtungen und zeigt fünf Sichtweisen auf [KAMISKE, BRAUER, 1993]:

- Transzendente Sichtweise

Die Qualität ist absolut und universell erkennbar und kann nicht definiert werden, sondern wird nur durch Erfahrungen empfunden.

- Produktbezogene Sichtweise

Die Qualität ist präzise und messbar. Die Qualitätsunterschiede werden durch bestimmte Eigenschaften oder Bestandteile eines Produktes widergespiegelt.

- Anwenderbezogene Sichtweise

Die Qualität liegt im Auge des Betrachters und weniger im Produkt. Individuelle Konsumenten haben unterschiedliche Bedürfnisse und betrachten Produkte als qualitativ hochwertig, wenn ihre Bedürfnisse am besten befriedigt werden.

- Prozessbezogene Sichtweise

Hervorragende Qualität entsteht durch eine gute Arbeit, deren Ergebnis die Anforderungen und Spezifikationen zuverlässig und sicher erfüllt.

- Preis-Nutzen-bezogene Sichtweise

Die Qualität wird durch Kosten und Preise ausgedrückt. Ein Qualitätsprodukt erfüllt eine bestimmte Leistung zu einem akzeptablen Preis.

4.1.2 Qualitätsmanagementsystem

Ein Qualitätsmanagementsystem umfasst nach DGQ [2001 a] eine Organisation, die alle Maßnahmen zur Qualitätsplanung, Qualitätslenkung und Qualitätsdarlegung plant, festlegt, wirksam durchführt und überwacht. Ein wirksames Qualitätsmanagementsystem ist demnach die Grundlage für gute Qualität. Für die Verwirklichung des Qualitätsmanagements werden Organisationsstrukturen, Verfahren, Prozesse und erforderliche Mittel benötigt.

Die Normenreihe der DIN EN ISO-9000-Familie [Beuth, 2001] beschreibt Grundlagen und legt die Terminologie zur Realisierung von Qualitätsmanagementsystemen fest. Ferner werden Anforderungen an diese Systeme gestellt, die eine Organisation befähigen, Kundenanforderungen oder behördliche Anforderungen erfüllen zu können. Die DIN EN ISO 9004 [Beuth, 2001] stellt einen Leitfaden bereit, der zur Leistungsverbesserung und Verbesserung der Kundenzufriedenheit die Wirksamkeit und Effizienz eines Qualitätsmanagementsystems einer Organisation betrachtet.

Die DIN EN ISO 9000 [Beuth, 2001] stellt acht **Grundsätze des Qualitätsmanagements** auf, um Qualitätsziele zu erreichen:

- Kundenorientierung

Erwartung des Kunden mit seinen Erfordernissen ist die maßgebende Größe für das Handeln einer Organisation.

- Führung

Möglichkeit der Entfaltung aller Personen in einem von Führungskräften geschaffenen Umfeld, indem die Ziele der Organisation erreicht werden.

- Einbeziehung von Personen

Das Wesen einer Organisation sind die Personen, die vollständig einbezogen ihre Fähigkeiten zum Nutzen der Organisation einsetzen.

- Prozessorientierter Ansatz

„Ein erwünschtes Ergebnis lässt sich effizienter erreichen, wenn Tätigkeiten und dazugehörige Ressourcen als Prozess geleitet und gelenkt werden.“ [DIN EN ISO 9000, Beuth 2001].

- Systemorientierter Managementansatz

Das effiziente und wirksame Leiten und Lenken von Prozessen setzt ein Erkennen und Verstehen von in Wechselbeziehung stehenden Prozessen voraus.

- Ständige Verbesserung

Ein permanentes Ziel ist die ständige Verbesserung der Gesamtleistung.

- Sachbezogener Ansatz zur Entscheidungsfindung

Entscheidungen werden nach einer Analyse von Daten und Informationen wirksam.

- Lieferantenbeziehung zum gegenseitigen Nutzen

Zwischen einer Organisation und deren Lieferanten besteht ein Abhängigkeitsverhältnis in der Art, dass gegenseitiger Nutzen die Leistungsfähigkeit beider Seiten erhöht.

Ein Qualitätsmanagementsystem sollte jedoch nicht losgelöst von anderen Systemen in einer Organisation bestehen. Falls Teilführungssysteme wie Umwelt- oder Personalmanagementsysteme in Organisationen mit ihren unterschiedlichen Ausrichtungen vorliegen, sollten die Teilführungsaufgaben aufeinander abgestimmt und ausgestaltet werden. Die Deutsche Gesellschaft für Qualität (DGQ) [2002] bezeichnet einzelne selbständige Managementsysteme, die zu einem Managementsystem zusammen gefasst werden, als integrative Managementsysteme.

In der Literatur werden vielfach Beispiele genannt wie ein Unternehmen unmittelbar ein System schaffen kann, dass den Anforderungen des Unternehmens selbst, des Marktes, der Gesellschaft und der Technik bei zunehmender Geschwindigkeit von Veränderungen gerecht werden kann. Der Leitfaden „Integriertes Managementsystem“ [2003] beschreibt hierzu, dass integrierte Systeme Ordnung und Glaubwürdigkeit durch klare Strukturen und widerspruchsfreie Kommunikation nach innen und außen schaffen. Sie reduzieren Aufwand und Komplexität durch klare Verantwortlichkeiten, Schnittstellen, gemeinsame Dokumentation sowie gemeinsame Audits. Mit der DIN EN ISO 9000:2005 [Beuth, 2005] und der DIN EN ISO 9001:2008 [Beuth, 2008] wurden Revisionen veröffentlicht, die Präzisierungen zu bestehenden Begriffen und Anforderungen liefern, jedoch die Intentionen der DIN EN ISO 9000:2000 [Beuth, 2001] und der DIN EN ISO 9001:2000 [Beuth, 2001] nicht ändern.

4.1.3 Operative Aufgaben im Qualitätsmanagement

Die operativen Aufgaben werden durch das Qualitätsmanagement beschrieben. Sind die Qualitätsziele und die Qualitätspolitik einer Organisation festgelegt, können

diese mit aufeinander abgestimmten Tätigkeiten der Qualitätsplanung, Qualitätslenkung, Qualitätssicherung und Qualitätsverbesserung gelenkt und geleitet werden. Mit den vier aufeinander folgenden Schritten Planen (Plan), Durchführen (Do), Prüfen (Check) und Verbesserung (Act) wird gezeigt, dass die operativen Aufgaben in einem sich schließenden Kreis befinden, in dem ständige Verbesserungen möglich sind. Die Abbildung 4.2 zeigt diesen Zusammenhang im PDAC-Qualitätskreis nach Deming. [SEGHEZZI, 2003]

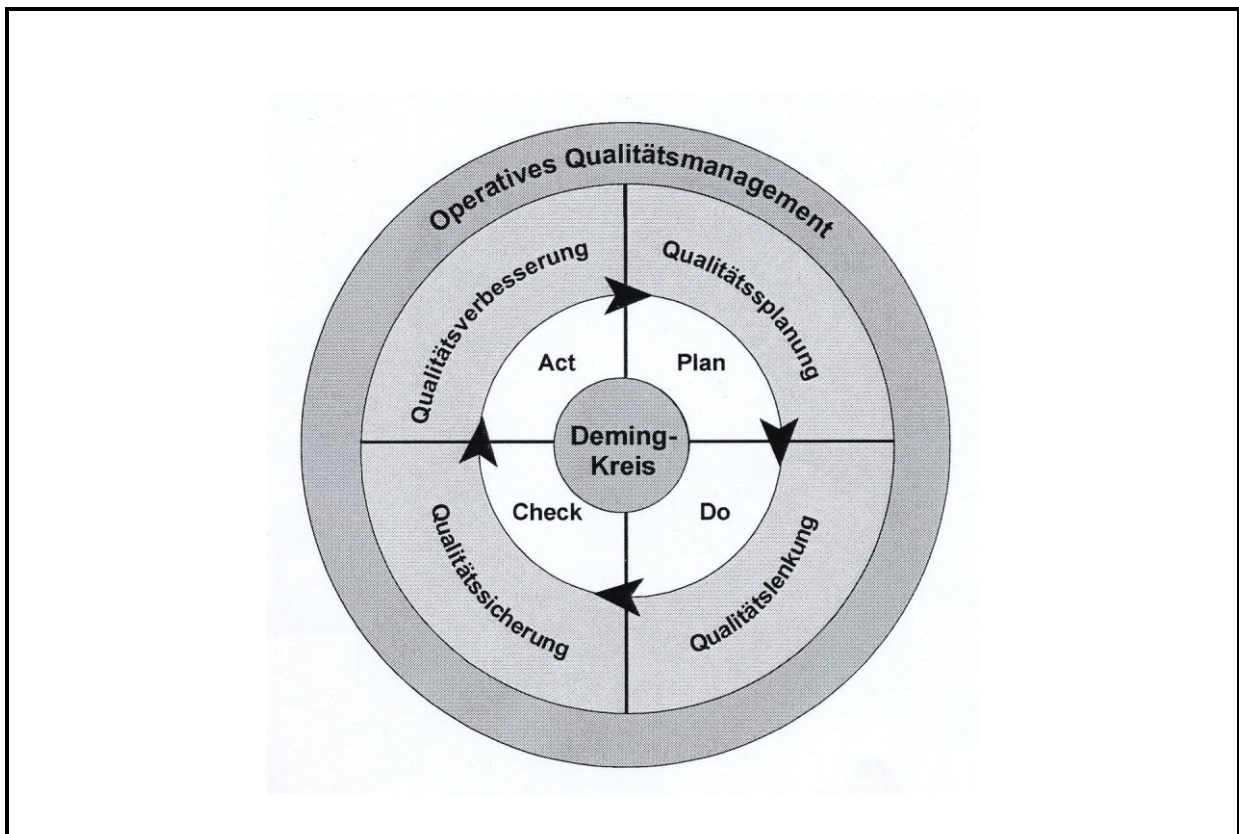


Abbildung 4.2: Operative Aufgaben des Qualitätsmanagements im PDAC-Qualitätskreis [SEGHEZZI, 2003]

Qualitätsplanung

„Die Qualitätsplanung ist der Teil des Qualitätsmanagements, der auf das Festlegen der Qualitätsziele und der notwendigen Ausführungsprozesse sowie der zugehörigen Ressourcen zur Erfüllung der Qualitätsziele gerichtet ist.“ [DIN EN ISO 9000, Beuth 2001]

Qualitätslenkung

„Die Qualitätslenkung ist der Teil des Qualitätsmanagements, der auf die Erfüllung von Qualitätsanforderungen gerichtet ist.“ [DIN EN ISO 9000, Beuth 2001]

Die Qualitätslenkung verfolgt somit das Ziel, die Qualitätsmerkmale eines Produkts bzw. einer Dienstleistung im Hinblick auf Merkmale aus der Qualitätsplanung zu überwachen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Qualitätssicherung

„Die Qualitätssicherung ist der Teil des Qualitätsmanagements, der auf das Erzeugen von Vertrauen darauf gerichtet ist, dass Qualitätsanforderungen erfüllt werden.“ [DIN EN ISO 9000, Beuth 2001]

Die Qualitätssicherung umfasst alle Maßnahmen eines Unternehmens, die der Schaffung, Sicherung und Verbesserung der Qualität dienen. Rahmenbedingungen und Zielsetzungen können durch die Faktoren Kundenzufriedenheit, Rentabilität, Umweltverträglichkeit und Gesetzeskonformität vorgegeben werden.

Qualitätsverbesserung

„Die Qualitätsverbesserung ist der Teil des Qualitätsmanagements, der auf die Erhöhung der Fähigkeit zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen gerichtet ist.“ [DIN EN ISO 9000, Beuth 2001]

Die Aufgabe der Qualitätsverbesserung ist es, ständig für die Verbesserungen der Leistungen und Prozesse im Unternehmen zu sorgen.

4.1.4 Prozesse

Ein Prozess wird nach DIN EN ISO 9000 [Beuth, 2001] definiert als:

„Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt“

Teil der prozessorientierten Sichtweise des Qualitätsmanagements ist es, dass der Kunde sich an beiden Enden der Prozesskette befindet und der Leistungsprozess im Ergebnis zur Kundenzufriedenheit führt.

Ein Leistungsprozess innerhalb einer Organisation kann hierbei ein Kernprozess sein, der in Haupt- und Teilprozesse zu unterteilen ist. Dieser Kernprozess kann sowohl von Führungsprozessen geleitet und gelenkt als auch von Unterstützungsprozessen begleitet werden.

Das Ergebnis eines Prozesses wird als ein Produkt bezeichnet. Die Eingaben für einen Prozess können Ergebnisse anderer Prozesse sein.

Der Kunde kann eine Organisation oder auch eine einzelne Person sein. Stellt ein Kunde ein Produkt zur Verfügung, so wird dieser als Lieferant bezeichnet. Empfängt ein Lieferant ein Produkt von einer Organisation, wird dieser als Unterlieferant oder auch Zulieferant bezeichnet [DGQ, 2001 a]. Es können sowohl interne als auch externe Kunden-Lieferantenbeziehungen entstehen.

Eine interessierte Partei hat ebenfalls Bedürfnisse und stellt Anforderungen an einen Prozess. Nach DIN EN ISO 9000 [Beuth, 2001] wird eine interessierte Partei definiert als:

„Person oder Gruppe mit einem Interesse an der Leistung oder dem Erfolg einer Organisation“

Das Prozessmodell der Abbildung 4.3 verdeutlicht die prozessorientierte Sichtweise im Regelkreis des Qualitätsmanagements.

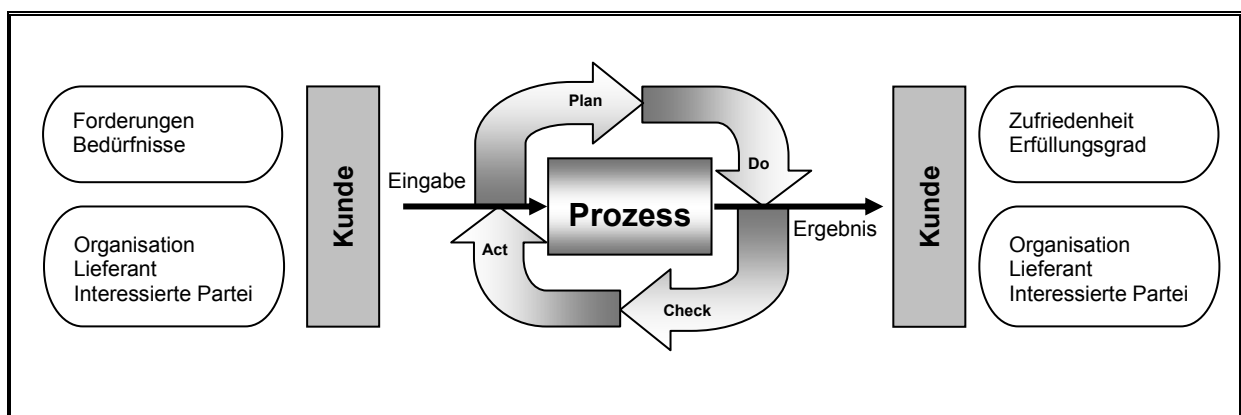


Abbildung 4.3: Prozessmodell in Anlehnung an DIN EN ISO 9000 [Beuth, 2001]

Nach der DIN EN ISO 9000 [Beuth, 2001] werden an Prozesse folgende Anforderungen gestellt:

- Effektivität
- Effizienz
- Steuerbarkeit
- Anpassungsfähigkeit

Ein Prozess muss mit angemessenem Aufwand ein gefordertes Ergebnis zielgerichtet erreichen. Das Ergebnis muss auch unter Veränderungen von Rahmenbedingungen messbar sein, damit der Prozess gelenkt und geleitet werden kann.

Der Leitfaden „Integriertes Management“ [2003] beschreibt Elemente eines Prozessmanagements, um prozessorientierte Sichtweisen umsetzen zu können. In verschiedenen Phasen werden Prozesse identifiziert, definiert und beurteilt (Abbildung 4.4)

In der Phase der Prozessidentifikation sind notwendige Prozesse zu ermitteln. Der Prozessablauf wird in der Phase der Prozessgestaltung modelliert. Mit Prozesseinführung kann eine Bewertung des Prozesses erfolgen. Die Bewertung erfolgt anhand einer Analyse und Beurteilung des Prozesses unter Verwendung geeigneter Kennzahlen. Aus der Bewertung lassen sich Optimierungen ableiten und somit Verbesserungen definieren.

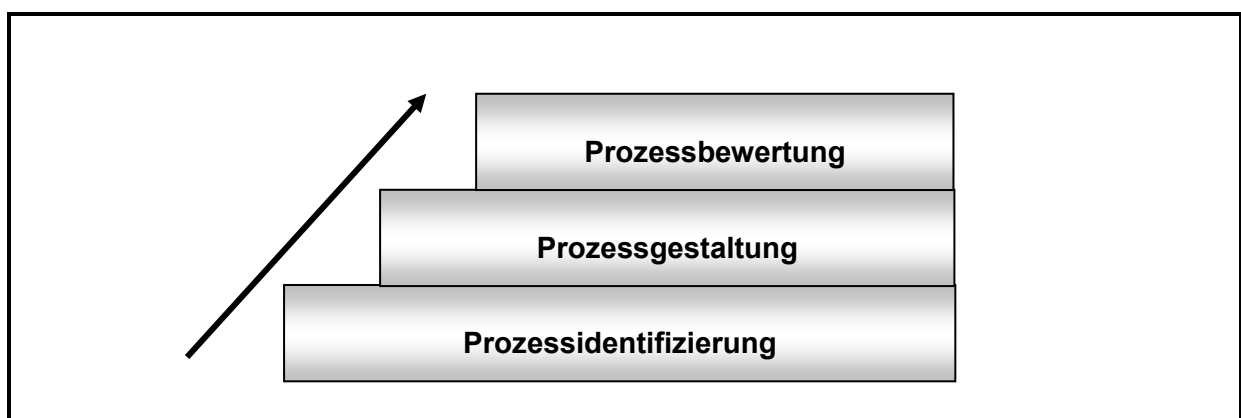


Abbildung 4.4: Stufen des Prozessmanagements in Anlehnung an den Leitfaden „Integriertes Management“ [2003]

4.1.5 Qualitätscontrolling

Das Qualitätscontrolling stellt Werkzeuge zur Verfügung, mit deren Verwendung Informationen über Qualität zu erhalten sind. Die Werkzeuge Qualitätsprüfung, Audit, Management Review und Assessment werden nach Abbildung 4.5 in verschiedenen Hierarchieebenen eingesetzt und ergänzen sich gegenseitig.

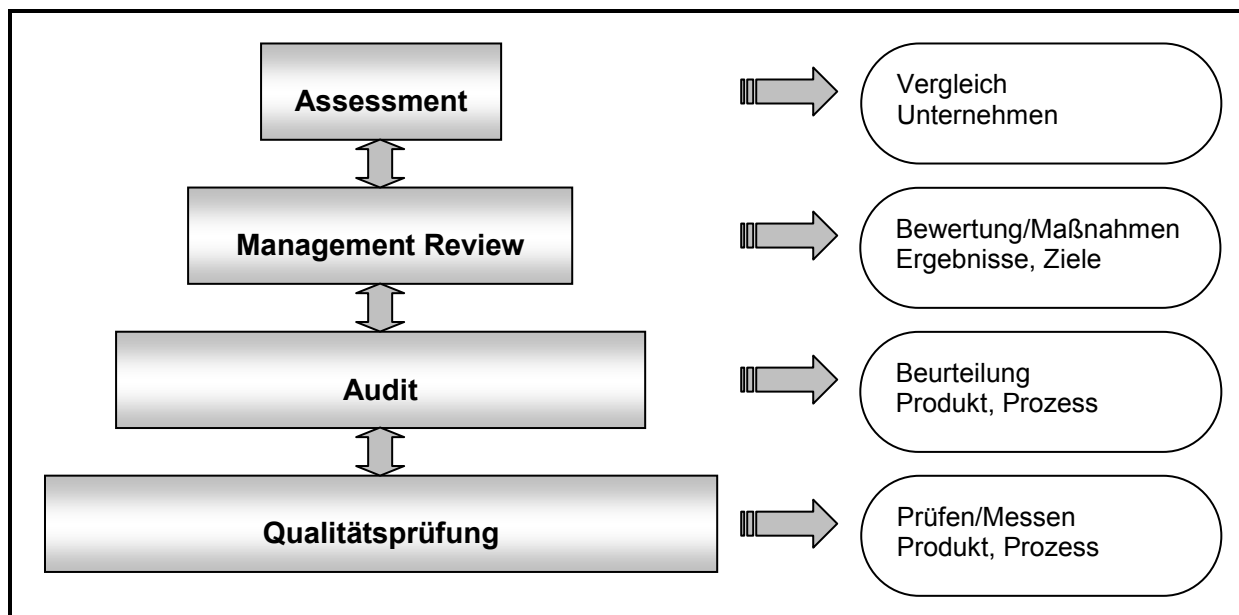


Abbildung 4.5: Werkzeuge des Qualitätscontrollings in Anlehnung an SEGHEZZI [2003]

Assessment

Assessments verfolgen den Zweck Unternehmen zu bewerten. Es sind Vergleiche innerhalb des Unternehmens oder von Unternehmen im Sinne des Benchmarkings mit anderen Unternehmen möglich. Hierdurch werden Potentiale und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt. [SEGHEZZI, 2003]

Management Review

Die oberste Leitung eines Unternehmens verschafft sich in definierten Zeitabständen einen Überblick über den Stand und Aussichten des Unternehmens. Ein Review ist nach DGQ [2002] Teil des Managementsystems, bei dem nach Beurteilung und gegebenenfalls nach Bewertung, ein Handlungsbedarf abgeleitet wird und

Maßnahmen beschlossen werden.

Audit

Die DGQ [2002] definiert ein Audit als:

„Beurteilung im Hinblick auf Angemessenheit und Wirksamkeit der Betrachtungseinheit, festgelegte Ziele zu erreichen, durch Personal, das nicht für die Betrachtungseinheit verantwortlich ist.“

Ein Prozessaudit beurteilt demnach die Qualitätsfähigkeit eines Ablaufs einschließlich der Schnittstellen zu anderen Abläufen und der Informationsflüsse mit dem Ziel die Abläufe bezüglich Effektivität und Effizienz zu verbessern.

Qualitätsprüfung

Nach GEIGER [1998] bezeichnet eine Qualitätsprüfung das Feststellen, inwieweit eine Einheit die Qualitätsforderungen erfüllt und wird in allen Bereichen der operativen Aufgaben des Qualitätsmanagements benötigt.

Die Qualitätsprüfung besteht aus drei Schritten:

- Prüfplanung
- Prüfdurchführung/Prüfdatenerfassung
- Prüfdatenauswertung

Die Prüfplanung liefert nach KOCHER [1989] die Auswahl der Qualitätsmerkmale, die sich prüfen lassen. Im Allgemeinen entsprechen die Qualitätsmerkmale auch den Prüfmerkmalen. Bei der Auswahl der Prüfmerkmale ist zu berücksichtigen, welche Grenzwerte gefordert sind und mit welchen Mitteln sie zu welchem Zeitpunkt und in welchem Umfang geprüft werden.

Die Prüfpläne enthalten Prüfspezifikationen, Prüfanweisungen und Prüfablaufpläne. Die Prüfspezifikationen beinhalten Prüfmerkmale, Grenzwerte, Prüfverfahren und Prüfmittel. Die Prüfanweisung beinhaltet Angaben über die Prüfmittel, den Prüfumfang und die Prüfhäufigkeit. In dem Prüfablaufplan werden Angaben über Abfolge, Ort,

Zeitpunkt und Zuständigkeiten für die Durchführung der Qualitätsprüfung genannt. [KOCHER, 1989]

Die Prüfdurchführung kann auf unterschiedliche Weisen erfolgen. Ein wesentlicher Bestandteil ist die Mess- und Prüftechnik. Verfahren und Geräte zur Prüfausführung müssen zur Verfügung stehen. Die Prüfdurchführung muss systematisch geplant sein und in ihrer Ausführung nachvollziehbar und reproduzierbar gestaltet werden.

Teil der Prüfdatenauswertung ist es, die Mess- und Prüfergebnisse auszuwerten, aufzubereiten und zu visualisieren. Die Ergebnisse liefern den Nachweis der Erfüllung von Forderungen oder geben Hinweise auf Schwachstellen und Fehler des Prozesses oder Produkts.

Qualitätskennzahlen

Qualitätskennzahlen dienen zur Analyse und Bewertung von Prozessen und sind ein objektives Maß für die Eignung und Wirkung eines Prozesses. Mit Qualitätskennzahlen lassen sich Verbesserungspotentiale erkennen und umsetzen. Kennzahlen sind Verhältniszahlen und stellen einen Bezug zu einer Tätigkeit oder einem Prozess dar [DGQ, 2002].

BRUHN und GEORGI [1999] beschreiben ein Kennzahlensystem, dass für Unternehmen angewendet werden kann. Die Autoren beschreiben Kennzahlen, die wirtschaftlichkeitsbezogene Verbesserungspotentiale identifizieren können. Hierzu zählen reine qualitätsbezogene Kennzahlen und verknüpfte Kennzahlen. Sie definieren folgende „Reine Qualitätskennzahlen“:

- Qualitätsbezogene Kosten-Kennzahlen
- Qualitätsbezogene Nutzen-Kennzahlen
- Qualitätsbezogene Kosten-Nutzen-Kennzahlen

Unter „Verknüpfte Qualitätskennzahlen“, die ein Verhältnis aus Kosten- oder Nutzensausprägungen mit sonstigen unternehmerischen Größen bilden, unterscheiden BRUHN und GEORGI [1999]:

- Monetäre Qualitätskennzahlen

- Teil-Monetäre Qualitätskennzahlen
- Nicht-monetäre Qualitätskennzahlen

Qualitätskosten sind nach DGQ [2002] Kosten, die durch Tätigkeiten der Fehlerverhütung, Qualitätsprüfungen sowie durch Fehler verursacht werden.

Fehler sind definiert als eine Nichterfüllung einer Forderung. Die Begriffe Fehler und Mangel sind zu differenzieren. Unter einem Mangel ist die Nichterfüllung einer Forderung in Bezug auf den beabsichtigten oder festgelegten Gebrauch zu verstehen. [DGQ, 2002]

4.1.6 Präventives Qualitätsmanagement

Eine Verbesserung von Produkten und Prozessen reduziert das Auftreten von Fehlern. Es können Nacharbeiten, Garantiekosten und unzufriedene Kunden vermieden werden. EULER [1999] zeigt auf, dass geeignete Techniken und Methoden des Qualitätsmanagements präventiv in den ersten Etappen des Produkt- oder Prozesszyklus eingesetzt werden können, um die Qualität zu verbessern. PFEIFFER [1993] beschreibt, dass etwa 80 % aller Produktfehler in ihrer Ursache den planenden und konzipierenden Tätigkeiten zuzuordnen sind. Die Fehlerbehebung hingegen findet erst im Bereich der Endprüfung oder in der Einsatzphase beim Kunden statt.

Präventive Methoden des Qualitätsmanagements, die durch systematisches und geplantes Vorgehen charakterisiert sind, können Fehler analysieren, bewerten und vermeiden. Die Methoden gehören zu den „Seven Tools“ und „Seven New Tools“ des Qualitätsmanagements. [SEGHEZZI, 2003]

Im Kontext der Arbeit werden die Methoden Pareto-Analyse (ABC-Analyse), Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm), Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) und Quality Function Deployment (QFD) angewendet und nachfolgend definiert.

Pareto-Analyse

Mit der Pareto-Analyse können Ursachen eines Problems identifiziert und eine Trennung wichtiger von unwichtigen Einflussfaktoren vorgenommen werden. Die Verdeutlichung welche Problemursachen als erstes beseitigt werden müssen, um ein Problem zu minimieren, lässt sich nach KAMISKE und BRAUER [1993] in einer Summenkurve des Pareto-Diagramms nach Abbildung 4.6 darstellen. Die Darstellung führt im Allgemeinen zur Aussage, dass sich 80% der Wirkung auf 20% der Probleme berufen.

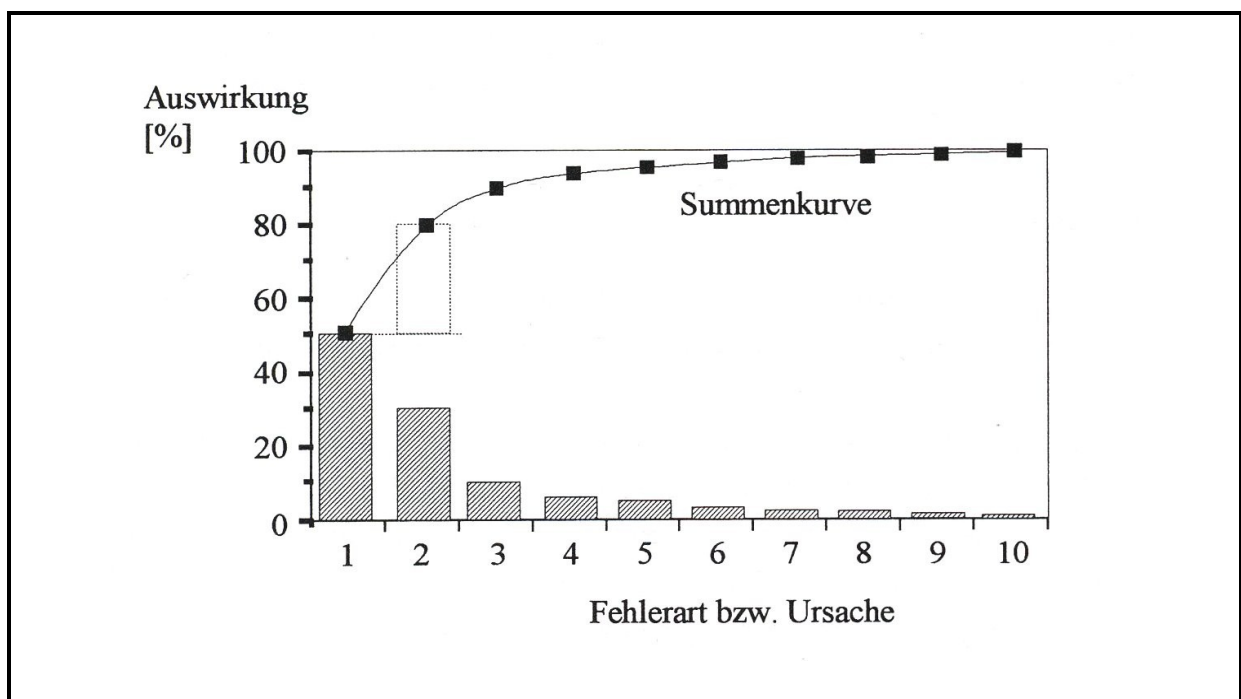


Abbildung 4.6: Pareto-Diagramm [KAMISKE, BRAUER, 1993]

Ursache-Wirkungs-Diagramm

Das Ursache-Wirkungs-Diagramm ist eine grafische Darstellung, die Kaoru Ishikawa zugeschrieben ist und verfolgt den Grundsatz, dass eine bestimmte Wirkung selten auf eine einzige Ursache zurückzuführen ist. Einer Wirkung werden Haupteinflussgrößen, die sogenannten 6 M (Mensch, Milieu, Management, Maschine, Methode, Material) zugeordnet. Jeder Haupteinflussgröße unterliegen weitere Einflussgrößen (Ursachen). Die Darstellungsform bietet eine Übersicht bei der Strukturierung von Einflussgrößen und deren gegenseitigen Abhängigkeiten.

und kann zur Fehleranalyse und für Prozessoptimierungen eingesetzt werden. [SEGHEZZI, 2003]

Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) zählt ebenfalls zu den Methoden der präventiven Qualitätssicherung und kann auf bestehende Prozesse mit dem Ziel der Verbesserung eingesetzt werden. Die FMEA (engl.: Failure Mode and Effects Analysis) wurde in den 60er Jahren in der Raumfahrt entwickelt und findet eine weite Verbreitung in der Automobilindustrie. Mit Anwendung dieser Methode können die möglichen Fehlerursachen, Fehler und Fehlerfolgen bereits in einem frühen Stadium des Entwicklungs- und Fertigungsprozesses aufgezeigt, bewertet und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung festgelegt werden. Die FMEA wird solange angewendet, bis alle Risiken beseitigt wurden oder ein akzeptiertes Ausmaß erreicht werden konnte. [DGQ, 2001 b]

SEGHEZZI [2003] bezeichnet die Methode als Risikoanalyse hinsichtlich der angewendeten Systeme, Produkte oder eingesetzten Prozesse. Die Analyse lässt sich somit produktunabhängig einsetzen. Die Durchführung einer FMEA erfolgt in den nach Abbildung 4.7 aufgezeigten Schritten.

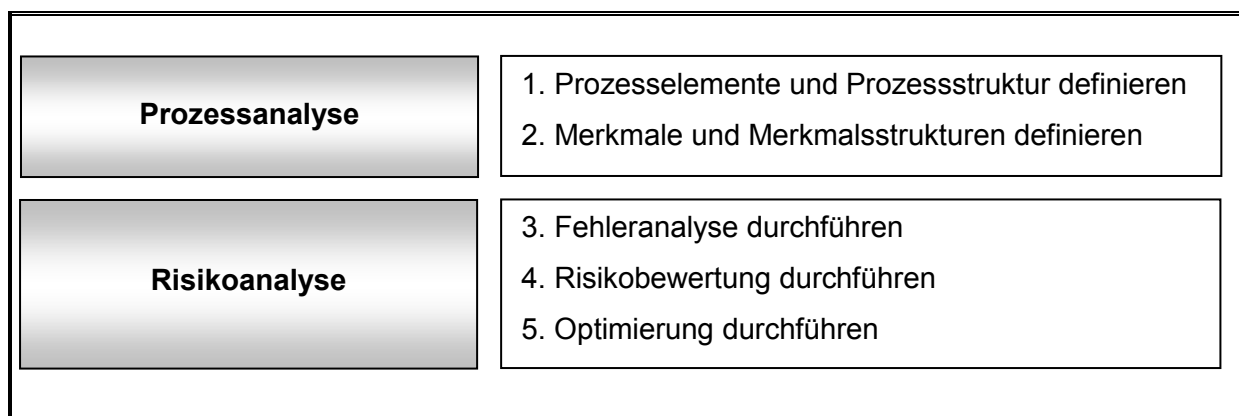


Abbildung 4.7: Fünf Schritte einer FMEA in Anlehnung an DGQ [2001 b]

Innerhalb der Prozessanalyse sind Prozesselemente des zu betrachtenden Prozesses mit den jeweiligen Schnittstellen festzulegen. Der Umfang der FMEA wird hiervon

bestimmt. Jedem Prozesselement sind Merkmale zuzuordnen.

Die Risikoanalyse besteht aus einer Fehleranalyse und einer Risikobewertung. Innerhalb der Fehleranalyse werden den Merkmalen mögliche Fehler zugeordnet. Ausgehend von den Fehlern wird durch Zuordnung der Fehlerursachen und Fehlerfolgen ein Fehlerfunktionsnetz geknüpft. Die Fehleranalyse sollte methodisch mit logischen Überlegungen oder aus Erfahrungen eines bereichsübergreifenden Mitarbeiterteams durchgeführt werden. Die Risikobewertung erfolgt nach den Kriterien der Bedeutung der Fehlerfolge (B), Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache (A) und der Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) der Fehlerursache, Fehlerart bzw. der Fehlerfolge. Das Ergebnis dieser Bewertung ist die Risikoprioritätskennzahl (RPZ) und wird mit Gleichung 1 beschrieben:

$$RPZ = B \times A \times E \quad \text{(Gleichung 1)}$$

Für die Einzelfaktoren werden jeweils Bewertungszahlen auf einer Skala von 1 bis 10 verwendet, wodurch sich für die Risikoprioritätskennzahl (RPZ) ein Wertebereich von 1 bis 1.000 ergibt. Je größer die Zahl, desto größer ist das Risiko, dass die Prozessfähigkeit nicht gegeben ist. Sie ist somit ein Ansatzpunkt für Optimierungsmaßnahmen des Prozesses. Bei Überschreitung einer vorgegebenen Eingriffsgrenze, kann die Prozessoptimierung für alle Fehlerursachen mit neuen Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen zur Senkung des Risikos geplant werden. Zur Erhöhung der Prozesszuverlässigkeit können Änderungen in den Prozessen erfolgen, um die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Fehlers zu minimieren oder zusätzliche Prüfungen erfolgen, um die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers zu verbessern. [DGQ, 2001 b]

Quality Function Deployment (QFD)

Das Quality Function Deployment (QFD) ist eine systematische Methode, die in Japan in den frühen 70er Jahren erstmals in der Produktentwicklung und bei Dienstleistungen angewendet worden ist. Zielsetzung dieser Methode ist es, Kundenanforderungen – die Stimme des Kunden – durch innerbetriebliche Planungsaufgaben in technische Merkmale – die Sprache der Ingenieure – zu übersetzen. [DGQ, 2001 a]

Das zentrale Instrument des QFD ist das „House of Quality“, eine Matrix, in der Kundenanforderungen und kritische Produktmerkmale einander gegenüber gestellt werden, um aus den unterschiedlich starken Wechselbeziehungen Prioritäten für eine Umsetzung abzuleiten [BRUHN, 2006]. Die Vorgehensweise der QFD-Methode ist nach SAATWEBER [1994] schematisch in der Abbildung 4.8 dargestellt. Es lassen sich nach BRUHN [2006] die folgenden zehn zentralen Ablaufschritte beschreiben:

Im ersten Schritt werden die relevanten Kundengruppen (WER?) ermittelt, dies können interne und externe Leistungsempfänger sein.

Im zweiten Schritt werden die Kundenanforderungen und -bedürfnisse (WAS ?) erfasst und in einer Baumstruktur angeordnet und gewichtet. Nach BRUHN [2006] können hierbei Daten der Marktforschung verwendet werden.

Im dritten Schritt werden Qualitätsmerkmale abgeleitet und die notwendigen Leistungsmerkmale (WIE?) zur Erfüllung der Kundenanforderungen festgelegt.

Im vierten Schritt werden den Qualitätsmerkmalen messbare bzw. bezifferbare Zielgrößen und -einheiten (WIEVIEL?) zugeordnet. Die Optimierungsrichtung für die einzelnen Merkmalsausprägungen (d. h. Festlegung des Zielwertes sowie dessen Maximierung oder Minimierung) sowie der Schwierigkeitsgrad zur Realisierung der Leistung sind zu ermitteln.

Im fünften Schritt werden positive oder negative Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Qualitätsmerkmalen untersucht und in der Korrelationsmatrix, dem „Dach“ des House of Quality, dokumentiert. Negative Wechselwirkungen geben Hinweise auf erforderliche Änderungen.

Im sechsten Schritt werden Vergleiche der eigenen Leistung mit Leistungen des Wettbewerbs vorgenommen. Die Leistungsvergleiche erfolgen aus Kundensicht und aus Sicht des eigenen Unternehmens und zeigen auf, warum Verbesserungen notwendig sind (WARUM?).

Mit der QFD-Methode kann ein Bedeutungsmaß der eigenen Leistung und ein Erfüllungsgrad von Kundenanforderungen ermittelt werden, aus denen sich ein Verbesserungspotential ableiten lässt. Nach BRUHN [2006] ist ein Einsatz der QFD-Methode für den Dienstleistungsbereich zu modifizieren, da die Immaterialität der Leistungen sowie die Integration des externen Faktors eine trennscharfe Erstellung

der Abhängigkeitsmatrizen erschweren. Doch ermöglicht die Methode eine Fokussierung des gesamten qualitätsbezogenen Planungsprozesses auf die Kundenwünsche.

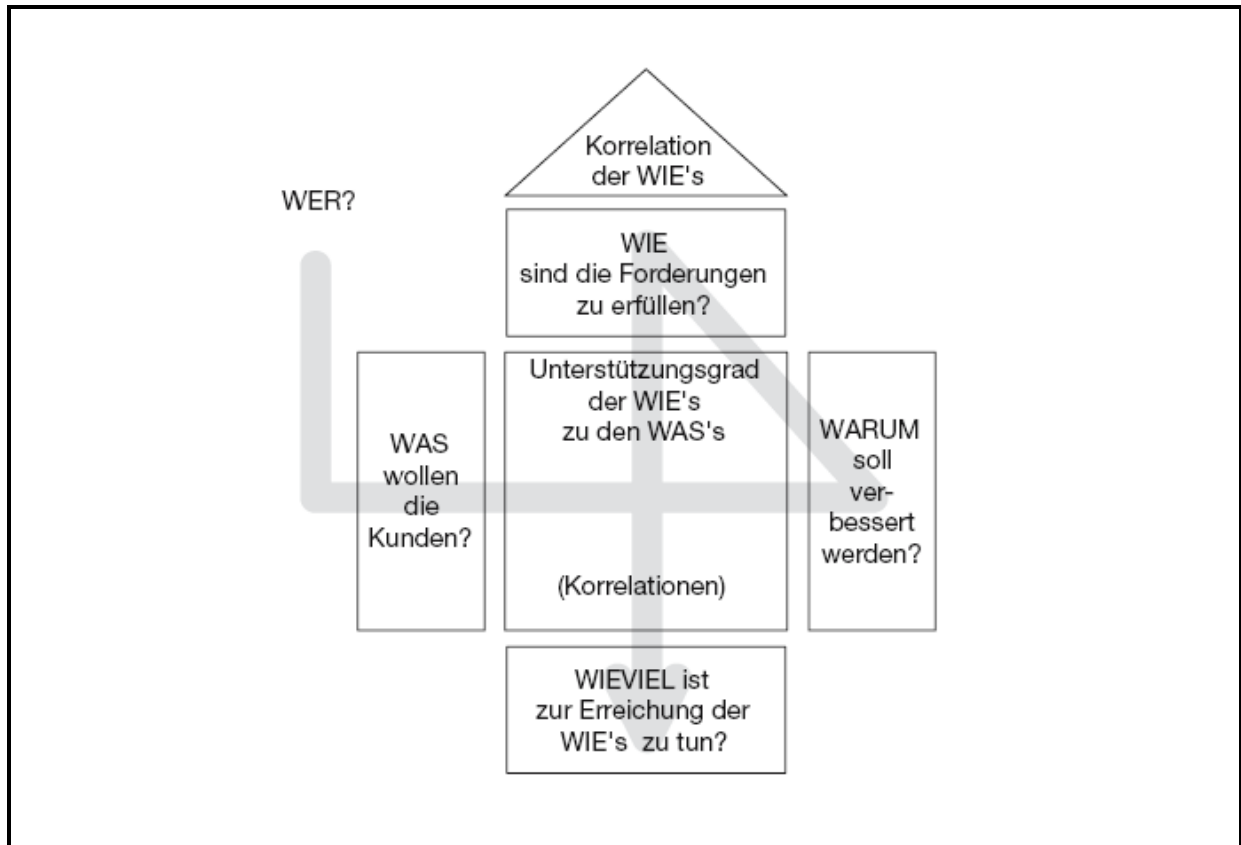


Abbildung 4.8: Konzept des Quality Function Deployment (QFD) [SAATWEBER, 1994]

4.2 Qualitätsprüfungen im Asphaltstraßenbau

4.2.1 Entwicklung von Qualitätsprüfungen

Wie einleitend beschrieben hat sich das bestehende Qualitätssicherungssystem und somit auch die Festlegung zur Durchführung von Qualitätsprüfungen über Jahre hinweg entwickelt. In seinen Ausführungen beschreibt URBAN [1996], dass in den 40er Jahren Straßenbau zumeist nach handwerklicher Erfahrung betrieben worden ist. Ende der 40er Jahre wurde begonnen, die regionalen Erfahrungen in einem Rahmenregelwerk zu erfassen. In der Folge wurden Richtlinien und Vorschriften

entwickelt, die bereits erste Anforderungen an Baustoffe enthielten. Bestehende Normen und Lieferbedingungen wurden in den 50er Jahren dem Stand der Technik angepasst und ständig präzisiert.

In den 60er Jahren erschien eine zweite Generation an Vorschriften für den Straßenbau. Es wurden Anforderungen an die Abnahme und Gewährleistung formuliert und bestehende Prüfverfahren auf Grundlage von ersten Normen der DIN 1996 [Beuth, 1994] in einem Vorschriftenwerk zusammengefasst. In dieser Zeit wurden durch eine Vielzahl an Prüfungen, die bei großen Autobahnlosen durchgeführt worden sind, Erfahrungen bezüglich der Abweichungen von Zielwerten gemacht. Diese Abweichungen begründeten sich in einer mangelnden Präzision der Fertigung oder auch in systematischen Fehlern, Inhomogenitäten des Materials und Streuungen bei der Probenahme und Probeteilung sowie in der Durchführung der Prüfung. Mit der Zeit gelang es, durch umfassende statistische Erhebungen und systematisch angelegte Ringuntersuchungen und Forschungsarbeiten die Streuungsparameter für die wichtigsten vertragsrelevanten Eigenschaften zu ermitteln. Die Kenntnis der Streuungen reichte jedoch nicht aus, um sicher von einer Einzelprobe auf die Gesamtleistung zu schließen. Daher bestand die Notwendigkeit mittels Stichproben von begrenzter Größe auf die Gesamtheit der Leistung zu schließen. Für die Abnahme wurden Gesamttoleranzen ermittelt, die sich auf Prüfergebnisse aus Stichproben bezogen.

In den 70er und 80er Jahren sollte mit der Entwicklung von Prüfplänen, die ein vertretbares Risiko für alle Beteiligten beinhalteten, eine klare Beurteilung der erreichbaren Qualität auf der Baustelle erzielt werden. Doch konnten diese Regelungen, die sich auf mathematisch statistische Qualitätskontrollen bezogen, nicht umgesetzt werden, weil der erforderlichlich große Stichprobenumfang sich für kleinere Baumaßnahmen im Asphaltstraßenbau als unwirtschaftlich herausgestellt hat. Mit der Erkenntnis, Kontrollen nicht erst bei der Abnahme einzusetzen, sondern bereits produktionsbegleitend auszuführen, war die Basis der Gütesicherung geboren. Die Gütesicherung wurde zunächst nur regional angewandt, dann jedoch auch von der Straßenbauverwaltung verpflichtend eingeführt.

Die besondere Bedeutung, die in den 80er Jahren der Qualität beigemessen wurde, verdeutlicht sich an den durchgeführten Veranstaltungen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). In den FGSV - Kolloquien der 80er Jahre in Seeheim mit dem Titel „Qualitätssicherung im Straßenbau“ und in Mannheim mit dem Titel „Neue Qualitätsstandards im Straßenbau?“ wurde kontrovers über Qualität diskutiert und wesentliche Erkenntnisse für den Straßenbau gewonnen. Das

Kolloquium in Seeheim im Jahr 1984 war in mehreren Teilen mit den Schwerpunkten Systematik der Qualitätssicherung, Gebrauchsverhalten und Nutzungsdauer, Anforderungen und Prüfverfahren, Bauausführung und Baustoffe sowie bauvertragliche Regelungen gegliedert.

In seinen Ausführungen des Kolloquiums zur Qualitätssicherung weist SCHUSTER [1984] auf den Stichprobencharakter von Kontrollprüfungen hin, die aber dennoch einen psychologischen Druck auf die Beteiligten ausüben und somit auch die Technik der Herstellung weiterentwickeln können. Das System der geteilten Verantwortung mit Eigen- und Fremdüberwachung oder Kontrollprüfung bringt aus seiner Sicht dem Auftragnehmer großes Vertrauen entgegen und setzt viel Erfahrung und Fachkompetenz auf den Vertragsseiten voraus. Er betont, dass bei mangelnder Erfahrung Vertragsstreitigkeiten vorprogrammiert sind. Eine hohe Qualität der Straße kann letztlich nicht durch Mängelbehebungen innerhalb von Gewährleistungsfristen ersetzt werden.

HALFMANN [1984] führt zu dem Themenblock Bauausführung und Baustoffe aus, dass der technische Sachverstand und die allgemeinen Regeln der Baukunst einen hohen Stellenwert einnehmen, da Regelwerke lediglich einen Rahmen setzen. Die Bauaufsichtspersonen der Vertragspartner müssen Ihre Fachkenntnis vor Ort einbringen. Selbst wenn die Anforderungen des Technischen Regelwerkes erfüllt sind, können einzelne Baustoffe für den Verwendungszweck ungeeignet sein. Die Begründung sieht er darin, dass in der Asphalttechnologie mit konventionellen Laborverfahren, Zahlenwerte zur prüftechnischen Ansprache von Asphalteigenschaften ermittelt werden, ohne den Einfluss auf Merkmale bestimmter Gebrauchseigenschaften zu betrachten. Dies führte in der Vergangenheit bei Betrachtung bestimmter Gebrauchseigenschaften oftmals zu veränderten Anforderungen an Deckschichten, die eine Abweichung zum bestehenden Technischen Regelwerk darstellten. Darüber hinaus spricht HALFMANN [1984] auch die Problematik der Probenahme grobkörniger Mischgutproben im Asphaltstraßenbau an und schlägt ein gekoppeltes System vor, in dem Prüfmerkmale von Kontrollprüfungen ausschließlich an Bohrkernen vorgenommen werden sollten und die Parameter der Mischgutzusammensetzung der Eigenüberwachung der Produktion entnommen werden kann.

KÖPPEL [1984] fasst in seinen Schlussfolgerungen des Kolloquiums zusammen, dass Kontrollmethoden zwar zu vereinfachen und zu ergänzen sind, jedoch im Sinne einer Weiterentwicklung vor allem vereinheitlicht werden sollten. Prüfvorschriften

sollten gestrafft und lediglich abgesicherte Erkenntnisse zur Anwendung kommen.

In seinen Ausführungen beschreibt URBAN [1984 a], dass Prüfungen beim Herstellen eines Bauwerks auf bestimmte Ziele ausgerichtet sind, auch wenn es sich um gleiche Prüfmerkmale handelt. Die Gütesicherung kontrolliert hierbei die Beschaffenheit der Baustoffe. Die Eignungsprüfung stellt die technisch und wirtschaftlich optimierte Zusammensetzung der Stoffe für den Verwendungszweck sicher. Die Produktion und der Bauablauf werden durch die Güteprüfung kontrolliert. Kontrollprüfungen bewerten die Beschaffenheit der fertigen Leistung oder bestimmte Eigenschaften, die mit dem Verhalten des Bauwerks korrelieren. Alle Prüfverfahren, die angewendet werden, müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Aussagefähigkeit über physikalische oder empirisch gewonnene Messwerte
- Genauigkeit von Prüfmerkmalen in Annäherung zu wahren Werten
- Handhabung zur praktischen Anwendbar- und Durchführbarkeit
- Kosten aus Anzahl der durchzuführenden Prüfungen und Zeitaufwand

In Betrachtung der Anwendung der Kriterien auf das bestehende Qualitätssicherungssystem betont URBAN [1984 a], dass bei Kontrollprüfungen den Untersuchungen zur Aussagefähigkeit bestehender Prüfungen den Vorzug, vor zu entwickelnden neuen Prüfverfahren gegeben werden sollte. Hingegen sollten neue geeignete Verfahren im Produktionsablauf innerhalb der Güteprüfung implementiert werden. In Kontrollprüfungen können reproduzierbare Messwerte festgestellt werden, die jedoch in erster Linie eine vertragsgemäße Beschaffenheit und nicht das Verhalten des fertigen Bauwerks erfassen.

LENKER [1984] fasst in seinen Ausführungen zusammen, dass Prüfungen und Anforderungen lediglich als Hilfsmittel dienen können, um eine optimale Straßenbauleistung im Hinblick auf Qualität und Wirtschaftlichkeit herzustellen. Kontrollprüfungen sind nicht wie Eigenüberwachungsprüfungen zur laufenden Beeinflussung der Qualität geeignet, sondern überprüfen lediglich die Qualität der Leistung mit Auswirkungen auf die Abnahme der Bauleistung und sind somit als Abnahmeprüfungen anzusehen.

NAKKEL [1984] führt in den Schlussfolgerungen des Kolloquiums aus, dass mit den weitgehend deckungsgleichen Kernaussagen zu verschiedenen Fragestellungen der Qualitätssicherung die Grundlagen für weitere Tätigkeiten gegeben sind. Grundsätzlich ist demnach die Qualitätssicherung darauf auszurichten, dass die Gebrauchstüchtigkeit des Bauwerks über die gesamte Nutzungsdauer gewährleistet

werden muss. Wesentlich hierbei ist, dass bereits in der Planung die entsprechenden Weichen gestellt werden. Im Bauablauf ist der Schwerpunkt auf die Güteprüfungen zu legen, die jedoch einen Nutzwert aufzeigen müssen. Kontrollprüfungen mit bauvertraglichem Charakter müssen hingegen eine hohe Genauigkeit aufweisen, besitzen jedoch einen geringen Einfluss auf die Qualität.

Im Kolloquium in Mannheim wurde folglich die Frage gestellt, ob neue Qualitätsstandards im Straßenbau erforderlich sind. Es wurde eingehend diskutiert, ob neue Anforderungen zu formulieren sind, um Qualität zielgerichteter steuern zu können.

In einem Beitrag zum Kolloquium in Mannheim führt PAULMANN [1987] aus, dass viele Einzelanforderungen beim Bau von Straßen gestellt werden, die von den am Bau beteiligten Vertragspartnern mit unterschiedlichen Interessen gesehen werden. Die Erfüllung der Anforderungen führt nicht zwingend zu einem hochwertigen Bauwerk; der zutreffende Gebrauchswert der Straße kann jedoch erreicht werden.

In seiner Zusammenfassung des Kolloquiums zeigt NAKKEL [1987] auf, dass viele Einflüsse auf das Bauwerk wirken, die alleine mit Einzelanforderungen nicht abgedeckt werden können. Daher wurde das Ziel ausgesprochen, den hohen Qualitätsstandard zu sichern und Qualitätsanforderungen ausgewogen in einer Gesamtkonzeption festzulegen.

Die Idee, die für URBAN [1996] dem heutigen Qualitätssicherungssystem entspricht, war, die Elemente der Qualitätsplanung, Qualitätslenkung und Qualitätskontrolle im Rahmen des Herstellungsprozesses optimal zu verbinden. Die 90er Jahre waren geprägt von der Weiterentwicklung der Qualitätssicherung bis hin zum Qualitätsmanagement. Die Idee des Qualitätsmanagement liegt darin, Fehler bei der Planung und Ausführung erst gar nicht entstehen zu lassen, um so Abnahmeprüfungen auf ein Mindestmaß begrenzen zu können.

In einem Streifzug durch die Entwicklung der letzten 50 Jahre berichtet REINBOTH [2003] über die fortschreitende Verbesserung und Sicherung der Qualität im Straßenbau. In seinen Ausführungen zitiert er auch die in den 80er Jahren zielstrebig entwickelten Überlegungen und Impulse zur weiteren Verbesserung der Qualitätssicherung. REINBOTH [2003] beendet seine Zusammenstellung mit einem Ausblick in die weitere Entwicklung der Qualitätssicherung. Die Schwerpunkte bilden die Einarbeitung europäischer Normen und die Umsetzung organisierter Qualität in Form von Qualitätsmanagementsystemen.

ELS, BÖHME ET AL [2003] beschreiben die Tätigkeiten der Kommission KB 3 „Qualitätssicherung im Straßenbau“. Die Kommission erarbeitete zunächst Hilfsmittel für die Umsetzung von Qualitätsmanagementsystemen im Straßenbau, die sich in den FGSV-Leitfäden 948 für Qualitätsmanagement im Straßenbau [FGSV, 1996 ff] widerspiegeln. Neue Aspekte der Tätigkeiten sind hingegen, alle am Produkt „Straße“ und seiner Herstellung beteiligten Partner zusammenzuführen und aufeinander abzustimmen. Qualitätsmanagement behandelt demnach nicht nur die Beschaffenheit des Produktes „Straße“, sondern insbesondere auch die Prozesse zur Herstellung. Es soll ein übergreifendes System geschaffen werden, in dem alle Prozesse und Kriterien strukturiert und Schnittstellen beschrieben werden. Die Autoren stellen ebenfalls Ergebnisse aus Forschungsarbeiten vor, in denen die Umsetzung von prozessorientierten Qualitätsmanagementplänen untersucht und eine Bewertung mit den Kennzahlen Prozess, Bauzeit und Leistung, Produktqualität und Kosten vorgenommen worden ist.

4.2.2 Technische Regelwerke

Bauverträge

Prüfungen sind im Technischen Regelwerk fest verankert; welche Bedeutung sie haben, ergibt sich aus den im Asphaltstraßenbau üblichen Vertragskonstellationen.

Bauverträge sind Werkverträge, gehören zum privaten Recht und unterliegen ergänzend den Bestimmungen der §§ 631 ff. BGB [2007]. Bei Straßenbauprojekten wird in Deutschland in aller Regel ein Vertrag zwischen einem öffentlichen Auftraggeber und dem Auftragnehmer geschlossen. Dabei verpflichtet sich der Auftragnehmer eine bestimmte Leistung zu erbringen. Der Auftraggeber wiederum verpflichtet sich, ihm dafür eine festgelegte Vergütung zu entrichten. Somit entstehen letztendlich zwei Schuldverhältnisse. Das Recht der Schuldverhältnisse ist in den §§ 241-853 des BGB [2007] geregelt. Diese Regelungen sind sehr allgemein und nicht auf die speziellen Belange des Bauvertrages ausgerichtet. Bei öffentlichen Auftraggebern wird daher die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) [2006] angewandt. Ist die VOB/B [2006] Vertragsbestandteil in Bauverträgen, gelten ihre Regeln vor denen des Werkvertragsrechts des BGB. Das BGB [2007] gilt ergänzend, wenn die VOB [2006] keine Bestimmungen enthält. Verletzt der Auftragnehmer seine vertragliche Pflicht, eine mangelfreie Bauleistung entsprechend den vertraglich zugesicherten Eigenschaften zu erbringen, dann hat er den Mangel

vollständig zu beseitigen. Die VOB/B unterscheidet hierbei folgende Vertragsunterlagen, die auch hinsichtlich ihrer Gültigkeit aufgelistet sind:

- LB = Leistungsbeschreibung
- BVB = Besondere Vertragsbedingungen
- ZVB = Zusätzliche Vertragsbedingungen
- ZTV = Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen
- ATV = Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (VOB/C)
- AVB = Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen (VOB/B)

Generell gilt, dass speziellere Regelungen den allgemeinen Regelungen vorausgehen.

WITTMANN [1997] beschreibt, dass die Bestimmungen der VOB insbesondere durch klare Regelungen zur Risikoverteilung, Vertragsklarheit, Vergütung und Eindeutigkeit in der Leistungsbeschreibung mittelbar zur Qualitätssicherung beitragen.

Die VOB/A, die Ausschreibungs- und Vergabeverfahren bis zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses regelt, wird nicht Bestandteil des Bauvertrages. Die VOB/C gilt sobald die VOB/B vereinbart worden ist. [2006]

Die VOB/C enthält die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) und somit die DIN-Vorschriften für die wichtigsten Gewerke. Die DIN-Normen sind ein Teil der anerkannten Regeln der Technik und diesen untergeordnet. Mitunter sind die DIN-Normen aber veraltet und somit nicht identisch mit den Regeln der Technik. Im Baurecht gilt dann die folgende Beweislast: „Die DIN-Normen haben die Vermutung für sich, dass sie die allgemeinen Regeln der Technik wiedergeben. Diese Vermutung kann zwar widerlegt werden, beweispflichtig ist aber dann derjenige, der die Richtigkeit der betreffenden DIN-Norm erschüttern will. [2006]

Die wichtigsten DIN-Normen der VOB/C [2006] für den Asphaltstraßenbau sind:

- DIN 18299 „Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art“
- DIN 18317 „Verkehrswegebauarbeiten - Oberbauschichten aus Asphalt“

Art und Umfang der vom Auftraggeber verlangten Eignungs- und Gütenachweise sind gemäß den Hinweisen für das Aufstellen der Leistungsbeschreibung nach DIN 18299 anzugeben.

In den DIN 18317 werden darüber hinaus Anforderungen und Prüfungen an Stoffen und Bauteilen aufgeführt und Angaben zur Ausführung gegeben. Eignungs- und Eigenüberwachungsprüfungen einschließlich Probenahme für die vom Auftragnehmer gelieferten oder hergestellten Stoffe sind Nebenleistungen und gelten auch ohne Erwähnung im Vertrag als vertragliche Leistung. Kontrollprüfungen einschließlich der Probenahme mit zugehörigen Leistungen sind Besondere Leistungen und gehören nur dann zur vertraglichen Leistung, wenn sie in der Leistungsbeschreibung besonders erwähnt sind. Kontrollprüfungen des Auftraggebers entbinden jedoch nicht den Auftragnehmer zur Durchführung seiner Prüfungen.

Die VOB/B und die VOB/C werden durch Besondere Vertragsbedingungen (BVB), etwaige Zusätzliche Vertragsbedingungen (ZVB) und durch Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) ergänzt.

Besondere Vertragsbedingungen (BVB) ergänzen die Allgemeinen Vertragsbedingungen der VOB und etwaige Zusätzliche Vertragsbedingungen im Hinblick auf spezielle Verhältnisse beim auszuführenden Bauvorhaben.

Mit Zusätzlichen Vertragsbedingungen (ZVB) kann der Auftraggeber die VOB/B durch Ergänzungen oder Änderungen seinen Bedürfnissen anpassen. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) müssen als Vertragsbestandteile vereinbart werden und enthalten spezielle Regelungen und Anforderungen zur Herstellung.

Eine weitere Form eines Werkvertrags hat sich in Deutschland mit dem Funktionsbauvertrag zunehmend entwickelt. Ein Funktionsbauvertrag ist ein Werkvertrag zwischen der Straßenbaubehörde als Auftraggeber und dem Straßenbauunternehmen als Auftragnehmer. Er beinhaltet für den Straßenoberbau auf Grundlage einer Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm die Bauausführung sowie die bauliche Erhaltung. Darüber hinaus werden die gewünschte Straßenbaufunktionsfähigkeit und das Entgelt nach einem definierten Zahlungsplan vereinbart. Der Nachweis der Funktionseigenschaften erfolgt über die

Erfassung von Zustandsmerkmalen im Rahmen von Inspektionen. Sind zusätzliche Eigenschaften gefordert, so sind Anforderungen bzw. Prüfverfahren im Leistungsprogramm festzulegen. Ein Funktionsbauvertrag bedeutet eine erhebliche Risikoverlagerung auf den Auftragnehmer, der Auftraggeber erhofft sich ein Innovations- und Optimierungspotential in der Bauausführung und Erhaltung der Straßen.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen

Die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen (ZTV) enthalten Textabschnitte, die mit Randstrich gekennzeichnet sind. Diese Abschnitte sind Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen im Sinne von § 1 Nummer 2d VOB/B, wenn die entsprechenden ZTV Bestandteil des Bauvertrages sind. Die kursiv gedruckten Absätze sind Richtlinien, die vom Auftraggeber bei der Aufstellung der Leistungsbeschreibung, sowie bei der Überwachung und Abnahme der Bauleistung zu beachten sind. Daneben gibt es auch noch Absätze in Kleindruck. Sie beziehen sich auf §§ der VOB/B bzw. auf Abschnitte der entsprechenden ATV. [2006]

Mit Vereinbarung der ZTV gelten auch die entsprechenden Technischen Lieferbedingungen (TL), Technischen Prüfvorschriften (TP) und Normen (DIN EN).

Für die Asphaltbauweisen bestanden die ZTV Asphalt (FGSV, 2001) und die ZTVT (FGSV, 2002), die mit Einführung der ZTV Asphalt-StB 07 (FGSV, 2007) ersetzt worden sind. Die ZTV Asphalt (FGSV, 2007) regelt die Herstellung von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise mit den daran gestellten Anforderungen.

Europäische Normen

Die Anwendung Europäischer Normen (EN) wird bei Prüfprozessen in Zukunft den Normalfall darstellen. Alle europäischen Mitgliedsstaaten, so auch Deutschland sind verpflichtet, innerhalb einer Frist, eine europäische Norm in den Status einer nationalen Norm (DIN EN) zu überführen und widersprechende nationale Normen zurückzuziehen. Wird in einem Regelungsbereich eine einheitliche Europäische Norm nicht erreicht, kann ein Harmonisierungsdokument erstellt werden. Es ist mit einer europäischen Norm vergleichbar. Allerdings sind in ihr nationale Abweichungen möglich. Somit müssen die europäischen Mitgliedsstaaten Harmonisierungsdokumente nicht unverändert in nationale Normen überführen,

sondern nur den Sachinhalt übernehmen und widersprechende nationale Normen zurückziehen.

Für die Harmonisierung bautechnischer Regelwerke ist das Bauproduktengesetz (BauPG) [2006] zur Umsetzung der Bauproduktenrichtlinie von grundsätzlicher Bedeutung. Die Vorschriften dieses Gesetzes regeln das In-Verkehr-Bringen von Bauprodukten und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten von und nach den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union oder einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum [BauPG, 2006]. Mit der Erlangung des Konformitätszeichens „CE“ können nach diesem Gesetz Produkte, die damit gekennzeichnet sind, innerhalb der Europäischen Union frei verkehren und verwendet werden.

4.2.3 Qualitätssicherungssystem in der Anwendung

Das System der Qualitätssicherung mit Umsetzung europäischer Normen stellt sich gemäß der Abbildung 4.9 dar.

Das System besteht im Wesentlichen aus vier Gruppen und weist Unterschiede zu dem zuvor in Deutschland geltenden Qualitätssicherungssystem auf. Mit Implementierung der europäischen Normen in das deutsche Regelwerk wurde eine zu zertifizierende Werkseigene Produktionskontrolle eingeführt, eine CE-Kennzeichnung der Produkte war bisher nicht vorgesehen. Stattdessen wurde eine RAP Stra Prüfstelle als Fremdüberwacher für die Zulassung eines Asphaltmischwerkes anerkannt.

Die einzelnen Gruppen sind in den jeweils gültigen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien beschrieben. Innerhalb dieses Systems werden vier Gruppen, die miteinander in Beziehung stehen, unterschieden:

- Erstprüfung und Eignungsnachweis (vorher: Eignungsprüfungen)
- Überwachung und Zertifizierung (vorher: Fremdüberwachung)
- Eigenüberwachungsprüfungen
- Kontrollprüfungen, ggf. Schiedsuntersuchungen

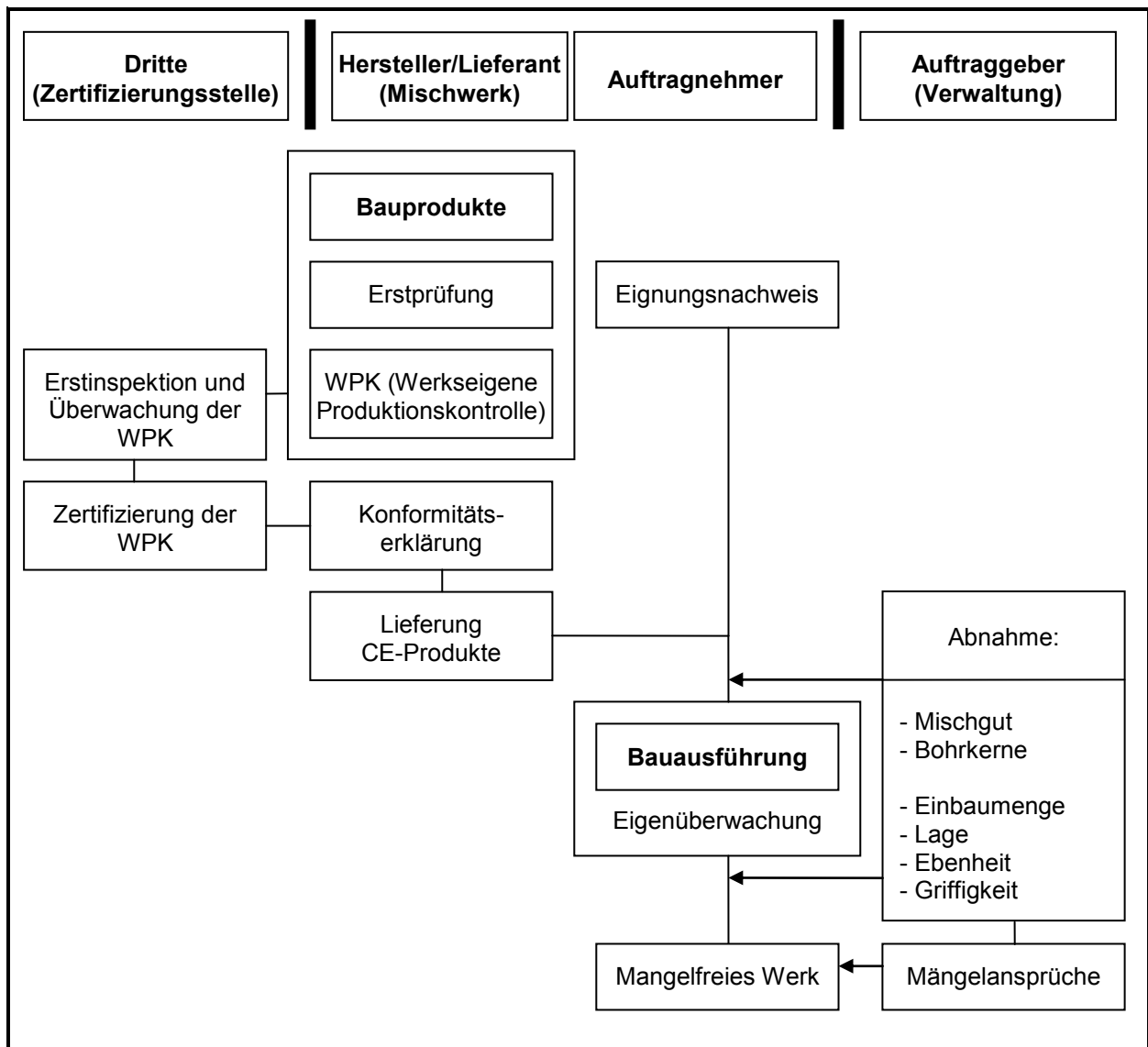


Abbildung 4.9: Vereinfachtes Schema des Qualitätssicherungssystems nach Technischem Regelwerk

Erstprüfungen nach den Technischen Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt) [FGSV, 2007] sind für jedes Produkt an einer Sollzusammensetzung durchzuführen, um nachzuweisen, dass die Anforderungen erfüllt werden. Ein Nachweis zum Zweck der Eignung besteht nicht. Die Erklärung über die Eignung der vorgesehenen Baustoffe und Baustoffgemische für den vorgesehenen Verwendungszweck erfolgt mit einem Eignungsnachweis vom Auftragnehmer gemäß ZTV Asphalt [FGSV, 2007].

Die bis dahin gültige ZTV Asphalt [FGSV, 2001] definiert Eignungsprüfungen als Prüfungen zum Nachweis der Eignung der Baustoffe und der Baustoffgemische. Diese Eignungsprüfungen wurden vom Auftragnehmer für den vorgesehenen

Verwendungszweck entsprechend den Anforderungen des Bauvertrags erstellt.

Die Aufgabe der Eignungsprüfung ist es, durch die Wahl einer geeigneten Zusammensetzung des Mischguts die Grundlage für die Ausführung anforderungsgerechter Asphaltsschichten zu schaffen. URBAN [1996] betrachtet Eignungsprüfungen als ein Element der Qualitätsplanung, da Qualitätsforderungen aus technischen Vorschriften und aus dem Bauvertrag objektspezifisch in Baustoffe umgesetzt werden. WITTMANN [1997] weist darauf hin, dass der Auftraggeber die Eignungsprüfung lediglich zur Kenntnis nehmen kann und nur verpflichtet ist, auf Abweichungen von den Vorgaben der Leistungsbeschreibung hinzuweisen. Inhaltlich darf er keinen Einfluss auf die Eignungsprüfung nehmen, da allein der Auftragnehmer die Gewähr für die Richtigkeit übernimmt.

Die TL Asphalt [FGSV, 2007] setzt die für Deutschland relevanten europäischen Normenteile der DIN EN 13108 Normenfamilie um und legt Anforderungen und Mindestprüfhäufigkeiten an Asphaltmischgut fest. Die Werkseigene Produktionskontrolle (WPK) des Herstellers ist entsprechend der DIN EN 13108-21 [2006] durchzuführen. Sofern die Produkte aus Asphaltmischgut gemäß erfolgter Erstprüfung mit den Anforderungen der TL Asphalt [FGSV, 2007] übereinstimmen, die Werkseigene Produktionskontrolle von einer zugelassenen Zertifizierungsstelle zertifiziert worden ist, kann der Hersteller eine Konformitätserklärung ausstellen und die Produkte mit CE-Kennzeichnung liefern.

Die Eigenüberwachungsprüfungen nach ZTV Asphalt [FGSV, 2001/2007] sind Prüfungen des Auftragnehmers oder dessen Beauftragten, um festzustellen, ob die Güteeigenschaften der Baustoffe, der Baustoffgemische und der fertigen Leistung den vertraglichen Anforderungen entsprechen. Die Überprüfung der fertigen Leistung soll baubegleitend erfolgen. Die Ergebnisse dieser stichprobenartigen Überwachungen können bei Abweichungen, sowohl für den Asphalthersteller als auch für das Einbauunternehmen, Auslöser für einzuleitende Korrekturmaßnahmen sein. Ein schnelles Eingreifen in den Bauprozess ermöglicht somit eine Qualitätslenkung.

Die Fremdüberwachungsprüfungen wurden vor Einführung der DIN EN 13108 [2006] gemäß TLG Asphalt [FGSV, 2001] durchgeführt. Die Fremdüberwachung ist demnach der vom Fremdüberwacher durchzuführende Teil der Güteüberwachung. URBAN [1996] führt aus, dass die Eigenüberwachungsergebnisse einer Fremdüberwachungsprüfung unterzogen werden, um eine Kontrolle offensichtlicher Ungereimtheiten und eine „Kalibrierung“ der Eigenüberwachung vornehmen zu

können.

Die Kontrollprüfungen sind wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung von Asphalt. Die Ergebnisse der Kontrollprüfungen werden der Abnahme zugrunde gelegt und stellen somit die Bewertung der erzielten Qualität dar. Die Kontrollprüfungen werden unmittelbar durch den Auftraggeber oder durch Beauftragung einer nach RAP Stra [FGSV, 2004] anerkannten Prüfstelle durchgeführt. In den jeweiligen Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen sind Richtwerte für die Art und den Umfang der Prüfungen vorgegeben.

Zusätzliche Kontrollprüfungen werden dann durchgeführt, wenn Grund zur Annahme besteht, dass ein Ergebnis der Kontrollprüfung nicht kennzeichnend für die gesamte zugeordnete Fläche ist. Die Vertragsparteien legen die Orte der Entnahme und die zuzuordnenden Teilflächen gemeinsam fest. Ist die Fläche nicht eindeutig abzugrenzen, soll nach Regelwerk die verbleibende unzureichende Teilfläche mindestens 20% der ursprünglichen Fläche betragen.

Schiedsuntersuchungen gelten als Wiederholung von Kontrollprüfungen, an deren sachgerechter Durchführung begründete Zweifel des Auftraggebers oder des Auftragnehmers bestehen. „Begründete Zweifel“ heißt, dass das Ergebnis einer Kontrollprüfung keine Vergleichbarkeit zu einem ermittelten Ergebnis einer zugehörigen Teilprobe aufweist. Das Ergebnis der Schiedsuntersuchung ist für die Vertragsparteien bindend und tritt an die Stelle des ursprünglichen Prüfergebnisses.

4.2.4 Systematik der Qualitätskontrolle und Prüftechnik

Die bauvertragliche „Qualitätskontrolle“ der fertigen Leistung besteht im Asphaltstraßenbau aus der Durchführung von Kontrollprüfungen. Jedoch können sie als letzte Kontrollinstanz nicht die Qualität der Leistung beeinflussen. BALD [2004] beschreibt, dass geeignete Kontrollprüfungen im Regelfall die gute Qualität bestätigen sollten, jedoch sonst zu ernststen Konsequenzen führen müssen, um letztlich langfristig zur Qualität zu motivieren.

Die nach ZTV Asphalt [FGSV, 2001/2007] durchzuführenden Eigenüberwachungsprüfungen des Auftragnehmers, deren Ergebnisse auch auf Verlangen dem Auftraggeber vorzulegen sind, haben sorgfältig und im vollem Umfang zu erfolgen, um Abweichungen von vertraglichen Anforderungen zeitnah

feststellen zu können.

Die Probenahme sowie die Prüfungen im Rahmen von Kontrollprüfungen, die auf der Baustelle erfolgen, führt der Auftraggeber in Anwesenheit oder in Kenntnis des Auftragnehmers durch. Falls der Auftraggeber diese nicht selbst durchführen kann, beauftragt er eine unabhängige Prüfstelle, die nach den Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau (RAP Stra) [FGSV, 2004] zugelassen ist.

In den ZTV Asphalt (FGSV, 2001/2007) wird beschrieben, dass Prüfungen, soweit erforderlich, die Probenahme, das versandfertige Verpacken der Probe und den Transport der Probe von der Entnahmestelle zur Prüfstelle sowie die Untersuchung einschließlich Prüfbericht umfassen. Die Probenahme ist wesentlicher Bestandteil der Kontrollprüfung. Die entnommenen Proben müssen repräsentativ für die gesamte eingebaute Asphaltbefestigung sein. Eine der wichtigsten Anforderungen an die Probenahme ist die sachgerechte Entnahme und die sofortige Kennzeichnung, um die Proben richtig zuzuordnen zu können.

Die Grundsätze der Probenahme und die verschiedenen Verfahren zur Durchführung der Probenahme von Asphalt sind in der TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009] beschrieben. Dabei wird darauf hingewiesen, dass die Verfahren abhängig von der Art des Prüfgesetzes, der Entnahmestelle und von ihrem Zweck sind.

In den ZTV Asphalt (FGSV, 2001/2007) wird für eine Kontrollprüfung vorgegeben, dass je Schicht und Lage sowie je angefangener 6.000 m² Einbaufläche mindestens eine Probe zu entnehmen ist. Die Anzahl der Proben kann bei Bedarf erhöht werden (z.B. im Stadtstraßenbau oder bei Brückenbelägen). Für die Praxis sind Grenzwerte und Toleranzen für Anforderungen formuliert. Es wird beschrieben, dass die angegebenen Grenzwerte und Toleranzen die Streuung der Probenahme, die Vertrauensbereiche der Prüfverfahren (Präzision unter Vergleichsbedingungen) und auch die arbeitsbedingten Unregelmäßigkeiten enthalten. Die Grenzwerte und Toleranzen beziehen sich bei den Mischgutprüfungen auf die Prüfergebnisse an noch nicht eingebautem Asphaltmischgut zum Anlieferungszeitpunkt.

Im Regelfall werden zur Überprüfung der Asphalteeigenschaften Proben des angelieferten Mischguts untersucht, während die Einbau- und Verdichtungsleistungen an Ausbaustücken zu überprüfen sind, die den entnommenen Mischgutproben zugeordnet werden können. Werden noch weitere Untersuchungsergebnisse benötigt, um eine zugeordnete Fläche eines in der Kontrollprüfung festgestellten Mangels einzuengen (Zusätzliche Kontrollprüfungen)

oder wird das Ergebnis der Kontrollprüfung angezweifelt (Schiedsuntersuchung), sind in der Regel weitere Bohrkernentnahmen erforderlich. Die ermittelten Ergebnisse mit Mischgut wiedererwärmter Bohrkerns werden dann in der Regel mit den am Asphaltmischgut ermittelten Ergebnissen in ihrer Bedeutung gleichgesetzt, ohne dass zuvor diese Vergleichbarkeit nachgewiesen wurde. Die Durchführung einer systematischen Qualitätskontrolle nach bestehendem Regelwerk fasst die Tabelle 4-1 zusammen. Bei Herstellung des Asphaltoberbaus werden den Fertigungs- und Arbeitsschritten jeweils Prüfmerkmale zugeordnet.

| Fertigungsschritt | Arbeitsschritt | Prüfmerkmal |
|---------------------------|------------------------------------|--|
| Transport | Mischgutanlieferung | Überprüfung der Anlieferung (Lieferschein) |
| | | Temperatur Mischgut |
| | | Beschaffenheit Mischgut (augenscheinlich) |
| | | Schädliche Bestandteile im Mischgut (augenscheinlich) |
| Einbau | Kontrolle der Einbaubedingungen | Temperatur (Luft, Unterlage, Mischgut) |
| | | Beschaffenheit der Unterlage (augenscheinlich) |
| | | Witterungsverhältnisse |
| | Kontrolle der Geräte und Maschinen | Maschinenkonfiguration (Fertiger, Verdichtungsbohle) |
| | | Einbaubreite |
| | | Einbauhöhe |
| | Beschickung des Fertigers | Le erfahren des Verteilerkübels |
| | | Hochklappen der Verteilerkübelseitenklappen |
| Walzverdichtung | Kontrolle der Geräte und Maschinen | Maschinenkonfiguration (Auswahl und Anzahl der Walzen) |
| | | Verdichtungsübergänge |
| Kontrollprüfung Baustelle | Mischgutprobenahme | Lage der Probenahme |
| | | Probeteilung und Probemenge |
| | Bohrkernprobenahme | Lage der Probenahme |
| | | Bohrkerndurchmesser |
| | | Anzahl der Proben |

Tabelle 4-1: Prüfmerkmale der Fertigungsschritte Transport, Einbau, Walzverdichtung und Kontrollprüfung [BALD, BÖHM, WOLF, 2005]

Die Vielzahl der Prüfmerkmale, die auch in weiteren Teilprozessen im Prüflabor bestimmt werden, begründet sich demnach darin, dass von Stichproben auf die Beschaffenheit des ganzen Produktes geschlossen werden muss. SCHMIDT und URBAN [1975] nennen Voraussetzungen für eine wirkungsvolle und wirtschaftliche Kontrolle. Demnach sollte nur in dem Umfang geprüft werden, der unbedingt zu einer ausreichend gesicherten Aussage nötig ist. Die Kontrolle sollte auf die Eigenschaften beschränkt werden, die für das Verhalten des Bauwerks von Bedeutung sind.

Die Autoren beschreiben ferner den Grundsatz, dass alle durchgeführten Prüfungen im Rahmen der Lieferung und Erstellung eines Bauvorhabens zusammenzufassen und der Beurteilung zugrunde zu legen sind. Um Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit des gesamten Bauwerks stellen zu können, bedarf es geeigneter flächendeckender und zerstörungsfreier Prüfverfahren, die jedoch nicht zur Verfügung stehen.

Statistische Gegebenheiten bei Durchführung von Kontrollprüfungen

Die Qualität von Bauprodukten kann durch quantitative Qualitätsmerkmale mittels Messung oder Zählung bestimmt werden. Durch Klasseneinteilung können auch quantitative Merkmale in qualitative Merkmale überführt werden [FGSV, 1994]. Ein Beispiel hierfür stellt die Korngrößenverteilung mit der Einteilung von Messwerten in Kategorien „feine Gesteinskörnung“ und „grobe Gesteinskörnung“ dar.

Die Merkmalswerte von Einheiten einer gesamten Liefereinheit oder eines Produktionsabschnittes sind nicht konstant, sondern unterliegen einer Verteilung. Schwankungen in Materialbeschaffenheiten, aus Produktionsverfahren, Probenahmen und Prüfungen mit Einflüssen aus der Umwelt und den ausführenden Personen bilden Einflussgrößen, die nicht kontrollierbar sind und führen zu zufälligen Abweichungen der Merkmalswerte. Zufällige Abweichungen sind Streuungen von Messwerten um den Mittelwert einer Messreihe, die durch nicht beherrschbare, nicht einseitig gerichtete Einflüsse während Messungen am selben Messobjekt innerhalb einer Messreihe entstehen [Beuth, 1987]. Systematische Abweichungen können einen konstanten Betrag bei der Messung haben, jedoch auch einer zeitlichen Veränderung unterliegen und beeinflussen die Richtigkeit [Beuth, 1987]. Infolgedessen weichen bei Messungen die gemessenen Werte der Prüfmerkmale einzelner Einheiten von den wahren Werten ab. Die Abweichung des Messwertes vom wahren Wert ist als Prüffehler zu bezeichnen [FGSV, 1994]. Die

Verteilung der Zufallsgrößen wird mit den Kenngrößen arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung beschrieben.

An Prüfergebnissen aus Kontrollprüfungen werden Anforderungen gestellt, die zur „Abnahme“ oder „Nicht-Abnahme“ des Prüfloses führen. Anforderungen und Entscheidungsregeln sollten aufeinander bezogen sein. Anforderungen können grundsätzlich an Qualitätskenngrößen wie Mittelwert und Standardabweichung, aber auch direkt an Prüfmerkmale gestellt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die wahren und gemessenen Werte in der Grundgesamtheit zumindest annäherungsweise normalverteilt sind. Bei allen Festlegungen von Anforderungen muss ein akzeptabler Ausgleich zwischen dem technisch erwünschten sowie dem statistisch sinnvollen angestrebt werden. Die Anforderung als Sollwertvorgabe wird für einige Prüfmerkmale mit der Vorgabe von Höchst- und Mindestwerten abgeschwächt und damit der technisch zulässige Spielraum bestimmt. Die Differenz zwischen dem Höchstwert und dem Mindestwert wird als Toleranz bezeichnet und entspricht der zulässigen Abweichung [FGSV, 1994].

Die Qualitätsanforderungen werden bei Kontrollprüfungen in der Regel über vorgegebene Grenzwerte und zugehörige Schlechtanteile formuliert. In Gestalt eines Prüfplans zwischen den Beteiligten erfolgt eine Stichprobenprüfung, um „gute“ Lose anzunehmen und „schlechte“ Lose zurückzuweisen. Eine Vollprüfung aller Einheiten eines Prüfloses kann in aller Regel aus technischen Gründen durch fehlende Prüftechnik oder finanziellen Gründen durch steigende Prüfkosten eines hohen Prüfumfanges nicht erfolgen [URBAN, 1984 b].

Die Aufgabe der Kontrollprüfung ist es, anhand von Prüfergebnissen zu entscheiden, ob vorliegende Einheiten des Prüfloses die vorgegebenen Qualitätsanforderungen erfüllen. Fehler können dadurch entstehen, dass akzeptable Prüflose abgelehnt werden (Fehler erster Art) oder nicht akzeptable Prüflose angenommen werden (Fehler zweiter Art) [FGSV, 1994].

5 Systemanalyse

5.1 Identifizierung der Qualitätsprüfungsprozesse

5.1.1 Vorüberlegungen

Im Kontext dieser Arbeit werden nicht die Prozesse der Planungs- und Entwurfsqualität betrachtet, sondern ausschließlich die Prozesse der Ausführungsqualität einer „Asphaltstraße“.

Das bestehende Qualitätssicherungssystem bei der „Herstellung einer Asphaltstraße“ ist geprägt von der Erfüllung eines Bauvertrags unter Einhaltung technischer Standards. Die Erwartungen des Kunden, in der Regel die Straßenbauverwaltungen als öffentliche Auftraggeber, beziehen sich auf zu erfüllende spezifizierte Qualitätsanforderungen. Innerhalb eines Bauvertrags sind die Risiken klar verteilt, Leistungen eindeutig beschrieben und unter Einbeziehung des Technischen Regelwerks Produktanforderungen messbar. Die wahrgenommene Qualität seitens des Kunden, aus der sich die Kundenzufriedenheit ableitet, wird in diesem Fall von der Erfüllung der gestellten Anforderungen erzielt.

Der eigentliche Kunde des Produktes „Asphaltstraße“, der Verkehrsteilnehmer als Nutzer, hat im Asphaltstraßenbau keinen direkten Einfluss auf die Qualität. Die Anforderungen und somit die Erwartungen an eine Asphaltstraße eines Verkehrsteilnehmers können mit den Größen „Verkehrssicherheit“ und „Fahrkomfort“ beschrieben werden. Grundeigenschaften dieser Größen sind Fahrbahngeometrie, Ebenheit, Rauheit und Helligkeit. Die Erwartungshaltung eines Verkehrsteilnehmers könnte in diesem Fall sein, eine ebene, helle und griffige Straße zu bekommen.

Im Technischen Regelwerk (s.a. Kapitel 4.2.2) werden die Erwartungen des Straßennutzers in Qualitätsmerkmale für Rohstoffe, Produkte und zu erbringender Leistung übersetzt und mit weiteren Qualitätsmerkmalen ergänzt. Eine Ergänzung ist erforderlich, da auch Kosten und Zeit bei der Herstellung eines Produktes von Bedeutung sind. Ferner müssen Belange der Umwelt beachtet werden. Die „Asphaltstraße“ sollte daher neben den bereits erwähnten Grundeigenschaften auch ideale Stoffeigenschaften aufweisen und somit eine lange Nutzungsdauer ohne negative Wirkungen auf Mensch und Umwelt gewährleisten. Der Verkehrsteilnehmer wird die von ihm erwartete Qualität nach Freigabe der Straße lediglich subjektiv wahrnehmen und daraus seine Zufriedenheit ableiten, ohne die

Qualität beeinflussen zu können.

Um die angestrebte Qualität zu erreichen, müssen Anforderungen an die Qualitätsmerkmale der Bauausführung gestellt werden. Die Anforderungen können direkt an Qualitätsmerkmale oder an abgeleitete Prüfmerkmale gestellt werden. Innerhalb des Prozesses „Herstellung einer Asphaltstraße“ sind die Prüfprozesse so zu steuern, dass die Erfüllung der gestellten Anforderungen an Qualitäts- und Prüfmerkmale gegeben ist.

Mit dem aus Kapitel 4.1.4 eingeführten Prozessmodell kann der Prozess der Bauausführung der Abbildung 5.1 dargestellt werden.

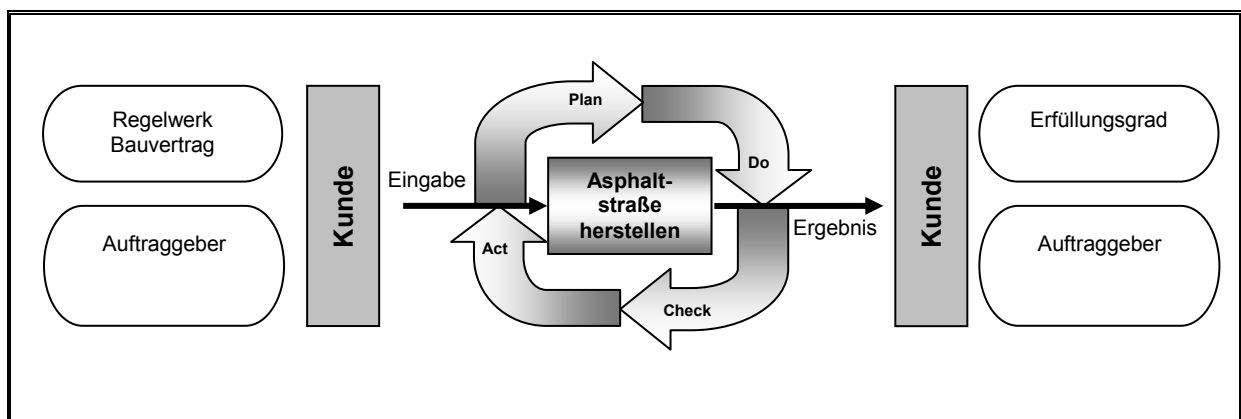


Abbildung 5.1: Prozess „Herstellen einer Asphaltstraße“ in der Bauausführung

Kunde ist der Auftraggeber der Bauleistung, der spezifizierte Qualitätsanforderungen aus dem Bauvertrag und Technischem Regelwerk an die Bauausführung „Herstellen der Asphaltstraße“ stellt. Der Prozess selbst wird vom Auftragnehmer als Hersteller durchgeführt, dessen Organisation darauf ausgerichtet sein muss, die Anforderungen des Auftraggebers zu erfüllen. Der Prozess „Asphaltstraße herstellen“ wird von Führungsprozessen gelenkt, von Unterstützungsprozessen begleitet und von Mess- und Prüfprozessen überwacht. Die Grundsätze des Qualitätsmanagements sollten hierbei Anwendung finden. Die Eigenüberwachungs- und Eignungsprüfungen (Erstprüfung mit Eignungsnachweis) sind Teil dieser Prüfprozesse. Eine Endprüfung als Abnahmeprüfung im Sinne der Kontrollprüfung kann Teil dieses Modells sein.

5.1.2 Prozessbeteiligte

An den Prozessen der Qualitätsprüfung sind im Asphaltstraßenbau folgende Partner beteiligt:

- Auftraggeber
- Auftragnehmer
- Lieferant
- Prüfstelle

Der Auftraggeber (AG), als öffentlicher Bauherr, stellt die Anforderungen an die zu erbringende Leistung und ist letztlich auch Kunde der Leistung. Der Begriff „Auftraggeber“ zeigt bereits, dass Vertragsverhältnisse bestehen. Er ist als Kunde in einer Vertragssituation zu verstehen. Der Auftraggeber übernimmt während der Ausführung einer Bauleistung die Aufgaben der Bauaufsicht und der Bauüberwachung. Organisatorische und fachtechnische Aufgaben der Bauüberwachung können auch an Ingenieurbüros delegiert werden. Handlungsempfehlungen hierfür können den FGSV Leitfäden 948 [FGSV, 1996 ff] entnommen werden. Die Bauüberwachung übernimmt die Aufgabe Kontrollprüfungen zu veranlassen und die Ergebnisse auszuwerten. Die vom Auftragnehmer vorgelegten Eignungsnachweise (Eignungsprüfungen) müssen von der Bauüberwachung auf Übereinstimmung mit dem Bauvertrag geprüft werden. Die Durchführung der Kontrollprüfung wird an eine hierfür anerkannte Prüfstelle vergeben.

Der Auftragnehmer (AN) ist gleichzeitig Leistungserbringer und Lieferant in einer Vertragssituation. Der Auftragnehmer als bauausführendes Unternehmen besitzt eine Organisationsstruktur und sollte nach DIN EN ISO 9001 [Beuth, 2001] zertifiziert sein. Falls der Auftragnehmer nicht selbst Asphaltmischgut herstellt, so bezieht er dieses von einem Lieferanten und gibt in diesem Fall selbst die Anforderungen des Bauvertrags an seinen Lieferanten weiter. Es besteht somit im Bauvertrag ein Innenverhältnis, in dem der Auftragnehmer Kunde ist. Der Auftragnehmer muss vor Beginn der Bauausführung einen Eignungsnachweis des zu verwendeten Asphaltmischguts erstellen und dem Auftraggeber vorlegen. Während der Bauausführung muss der Auftragnehmer die Eigenüberwachung konsequent durchführen.

Der Lieferant (L) als Hersteller des Asphaltmischguts ist aus Sicht des Bauvertrags

Zulieferant und steht vertraglich im Innenverhältnis mit dem Auftragnehmer. Der Lieferant prüft als Hersteller die Gebrauchstauglichkeit des Asphaltmischguts und erstellt Erstprüfungen, die mit den Anforderungen Technischer Lieferbedingungen übereinstimmen müssen. Ist diese Voraussetzung erfüllt und liegt eine zertifizierte Werkseigene Produktionskontrolle nach DIN EN 13108 [2006] vor, kann der Hersteller mit Erstellung einer Konformitätserklärung gekennzeichnete CE-Produkte liefern.

Eine nach RAP Stra [FGSV, 2004] anerkannte Prüfstelle (P) besitzt die Sachkunde und Erfahrung alle erforderlichen Prüfungen im Asphaltstraßenbau mit qualifiziertem Fachpersonal und erforderlichem Prüfgerät durchzuführen. Für die Durchführung von Kontrollprüfungen muss die Prüfstelle vom Auftraggeber beauftragt werden, wenn dieser die Prüfungen nicht selbst durchführen kann. Die Prüfstelle erbringt dem Auftraggeber als Kunden eine Dienstleistung. Prüfstellen können auch vom Auftragnehmer für die Durchführung der Eigenüberwachung beauftragt werden.

In den Fällen, in denen Zusätzliche Kontrollprüfungen oder Schiedsuntersuchungen durchgeführt werden, ändern sich die Kundenbeziehungen. Zusätzliche Kontrollprüfungen können sowohl Auftraggeber als auch Auftragnehmer an eine Prüfstelle delegieren. Sobald der Auftragnehmer diese Prüfung beantragt, geschieht dies einvernehmlich mit dem Auftraggeber. Eine Schiedsuntersuchung gilt als Wiederholung einer Kontrollprüfung und wird einvernehmlich zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer durchgeführt. Die zu beauftragende Prüfstelle, die nicht die Kontrollprüfung durchgeführt hat, muss nach RAP Stra [FGSV, 2004] hierfür zugelassen sein.

5.1.3 Qualitätsprüfungen im Regelkreis

Nach bestehendem Regelwerk sind die Qualitätsforderungen spezifiziert. Die durchzuführenden Qualitätsprüfungen sind innerhalb einer Systematik der Qualitätssicherung (s.a. Kapitel 4.2.3) im Asphaltstraßenbau festgelegt. Qualitätsprüfungen erfolgen bereits in dem frühen Stadium der Baustoffproduktion und der Herstellung des Asphaltmischguts. Hierdurch wird sichergestellt, dass die auf den Markt gebrachten Produkte, die angegebenen Eigenschaften besitzen. Bis zur Fertigstellung des Produktes „Asphaltstraße“ werden die Prozessschritte „Transport“, „Einbau“ und „Walzverdichtung“ überwacht und kontrolliert.

Das Modell der Qualitätsbeurteilung der Abbildung 4.1 aus Kapitel 4.1.1 kann

hierzu für die Prozesse der Qualitätsprüfungen adaptiert werden. Die Qualitätsprüfungen werden in der Abbildung 5.2 als Prüfprozesse im bestehenden Qualitätssicherungssystem mit den maßgeblichen Schnittstellen zum Herstellprozess der „Asphaltstraße“ aufgezeigt. Die möglichen Qualitätsdefizite zwischen den Prozessbeteiligten werden aufgezeigt.

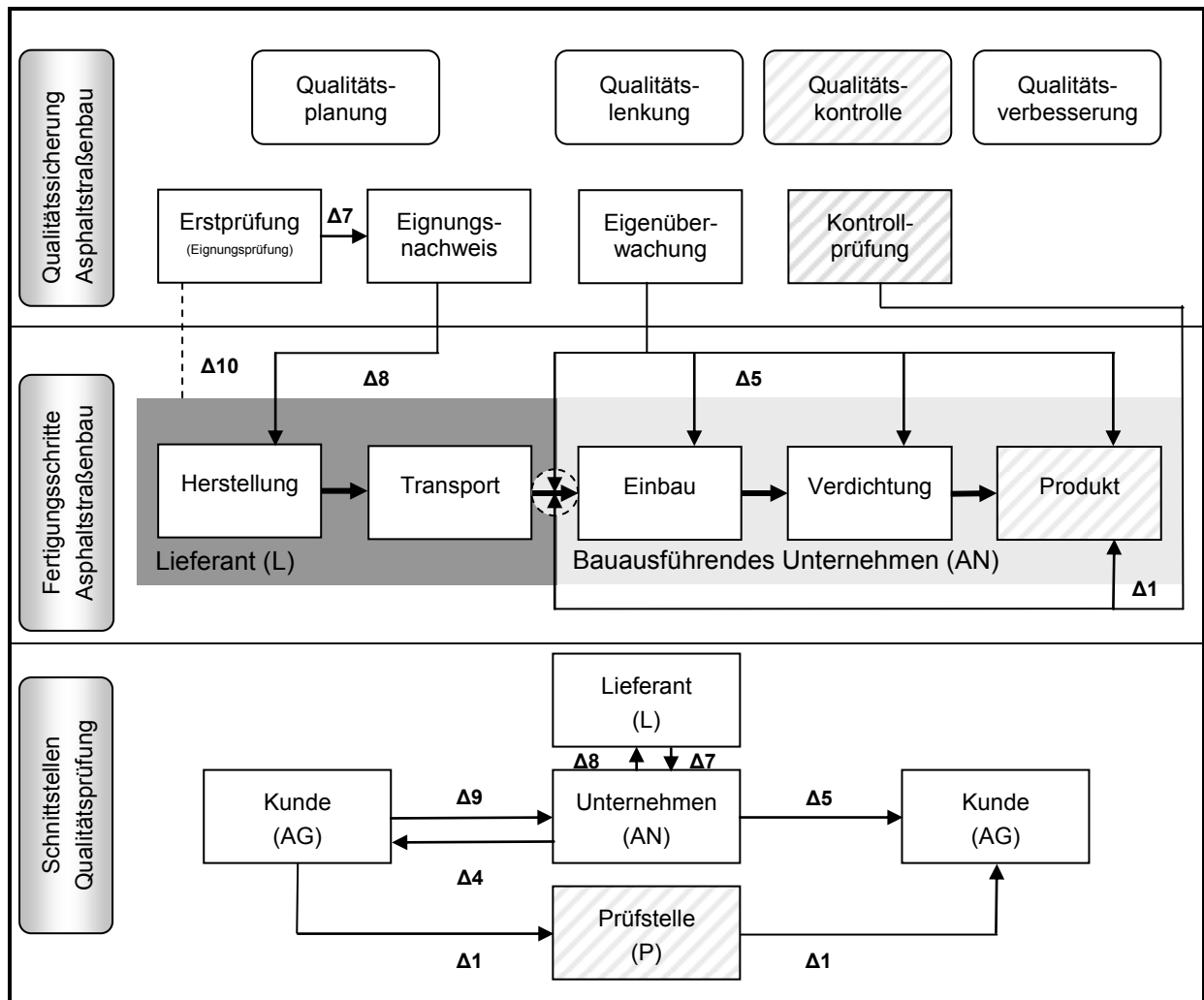


Abbildung 5.2: Qualitätsprüfungen im Regelkreis der Qualitätssicherung

Der Kunde (AG) überreicht seinem Lieferanten, dem bauausführenden Unternehmen (AN) ein Lastenheft mit spezifizierten Qualitätsforderungen an die Beschaffenheit der Asphaltstraße (Schnittstelle Δ9). Das Lastenheft entwickelt sich aus dem Bauvertrag mit den entsprechenden Spezifikationen des Technischen Regelwerks.

Das bauausführende Unternehmen (AN) übergibt an seinen Lieferanten (L) ein Pflichtenheft mit der Spezifizierung der Kundenanforderungen zur Ermittlung der Erstprüfung (Schnittstelle $\Delta 8$). Mit den nun vorliegenden definierten Qualitätsforderungen gestaltet das bauausführende Unternehmen als Auftragnehmer (AN) einen für den Verwendungszweck bestimmten Eignungsnachweis (Schnittstelle $\Delta 7$), der für ihn die Grundlage der zugesicherten Qualität des Produktes bildet. Der Kunde (AG) nimmt vor Bauausführung diese zugesicherte Qualität über den erstellten Eignungsnachweis wahr (Schnittstelle $\Delta 4$).

Die Ausführungsqualität ist mit der Durchführung von Eigenüberwachungen des bauausführenden Unternehmens (AN) zu begleiten. Die Eigenüberwachung dokumentiert die erstellte Ausführungsqualität (Schnittstelle $\Delta 5$).

Die entscheidende Qualitätsbeurteilung erfolgt letztlich durch die Qualitätskontrolle mit Durchführung der Kontrollprüfungen von anerkannten Prüfstellen im Auftrag des Kunden (AG) (Schnittstelle $\Delta 1$). Der Kunde (AG) bewertet die Qualität des Produktes über die Erfüllung der spezifizierten Qualitätsforderungen.

Eine Schnittstelle des Herstellprozesses „Asphaltstraße“ ist von elementarer Bedeutung für die Prozesse der Qualitätsprüfung. Zwischen den Fertigungsschritten Transport und Einbau übergibt der Lieferant (L) das Produkt „Asphaltnischgut“ an seinen Kunden (AN). Der Lieferant (L) garantiert die Konformität des Asphaltnischgutes nach DIN EN 13108 [2006] (Schnittstelle $\Delta 10$).

Anhand der Darstellung der Abbildung 5.2 zeigt sich, dass sich der Prozess der Bauausführung mit Maßnahmen der Qualitätsplanung und -lenkung in einem geschlossenen Qualitätskreis befindet. Qualitätsprüfungen werden in allen Phasen der Produktherstellung durchgeführt. Die Qualitätskontrolle nimmt hierbei eine besondere Rolle ein, da diese von dem Kunden (AG) als maßgebliche Beurteilung der Erfüllung der Qualitätsforderungen herangezogen wird. Die Prozesselemente der Qualitätskontrolle werden schraffiert hervorgehoben.

Die Qualitätsverbesserung besitzt im festgelegten System der Qualitätssicherung keine Schnittstellen zu anderen Prozessen. In Einzelfällen können jedoch qualitätsverbessernde Maßnahmen durch die Anwendung der Grundsätze des Qualitätsmanagements der Prozessbeteiligten verankert sein.

5.1.4 Qualitätskontrolle im engeren Regelkreis der Qualitätssicherung

Die Beurteilung der Produktqualität durch die Qualitätskontrolle besitzt im Asphaltstraßenbau einen hohen Stellenwert. Damit eine gute Qualität des Produktes nicht einer Fehlbeurteilung der Qualitätskontrolle unterliegt, werden besondere Anforderungen an die Durchführung der Qualitätskontrolle gestellt. Die Dienstleistung der beauftragten Prüfstelle bildet den Kernprozess der Qualitätskontrolle.

In diesem inneren Kreis der Qualitätssicherung besteht eine Kunden-Lieferantenbeziehung zwischen dem Auftraggeber als Bauherr der Straße und der Prüfstelle. Das angepasste Modell der Qualitätsbeurteilung verdeutlicht in Abbildung 5.3 die Sichtweisen der Dienstleistungsqualität zwischen dem Kunden (AG) und dem Anbieter (P).

Der Kunde (AG) setzt Erwartungen an die zu erbringende Leistung und Qualität der Prüfstelle. Die Erwartungshaltung des Kunden (AG) kann sich in Erfahrungen abgeschlossener Projekte in Zusammenarbeit mit einer Prüfstelle, in Empfehlungen Dritter, in vorliegenden Wettbewerbsangeboten oder in eigenen Bedürfnissen begründen. Gleichzeitig bestehen auch mit Vorliegen der RAP Stra [FGSV, 2004] spezifizierte Qualitätsforderungen an eine Prüfstelle. Eine Prüfstelle wird bei Erfüllung der Anforderungen von Landesbehörden für die Durchführung von Qualitätskontrollen anerkannt.

Der Kunde (AG) erteilt einer Prüfstelle (P), die eigene Vorstellungen über Erfordernisse hat, den Prüfauftrag (Schnittstelle $\Delta 9$). Mit Annahme des Auftrags sichert die Prüfstelle dem Auftraggeber eine Qualität der Leistung zu (Schnittstelle $\Delta 4$). Die Prüfstelle (P) ist bestrebt diese versprochene Qualität zu leisten.

Innerhalb der Prüfstelle (P) ist die Prüfleistung zu bestimmen, die von den eigenen Vorstellungen abweichen kann (Schnittstelle $\Delta 8$). Sobald eine Nichteinhaltung der gestellten Spezifikationen vorliegt, können nach Lieferung der Leistung Abweichungen in Form von Nichtkonformität bestimmt werden (Schnittstelle $\Delta 10$). Nach Gestaltung des Prüfablaufs (Schnittstelle $\Delta 7$) kann die Leistung erstellt werden (Schnittstelle $\Delta 6$). Die in einem Prüfzeugnis dokumentierte Leistung nimmt der Kunde (AG) wahr (Schnittstelle $\Delta 5$). Ein Vergleich der wahrgenommenen Qualität des Kunden (AG) mit seinen Erwartungen lässt eine Aussage über die Kundenzufriedenheit zu (Schnittstelle $\Delta 1$).

Eine Prüfstelle (P) kann mit der Implementierung eines Qualitätsmanagementsystems nach DIN EN ISO 9001 [Beuth, 2001] prozessorientierte Elemente der Qualitätsplanung und -lenkung aufnehmen, um den Prozess der Qualitätskontrolle so zu steuern, dass die eigene Sichtweise der Qualität der Sichtweise des Kunden (AG) entspricht. Werden in diesem Fall alle spezifizierten Qualitätsforderungen erfüllt, treten keine Qualitätsdefizite in dem Prozess der Qualitätskontrolle auf. Doch lassen sich nicht alle Erwartungen des Kunden spezifizieren, da Anforderungen in der Regel einem Wandel unterworfen sind. Die wahrgenommene Qualität wird ein Kunde auch an den Merkmalen „Kosten“ und „Zeit“ zur Erbringung der Dienstleistung messen. Es ist notwendig, mögliche Kundenbedürfnisse im Prozess der Qualitätskontrolle zu bewerten.

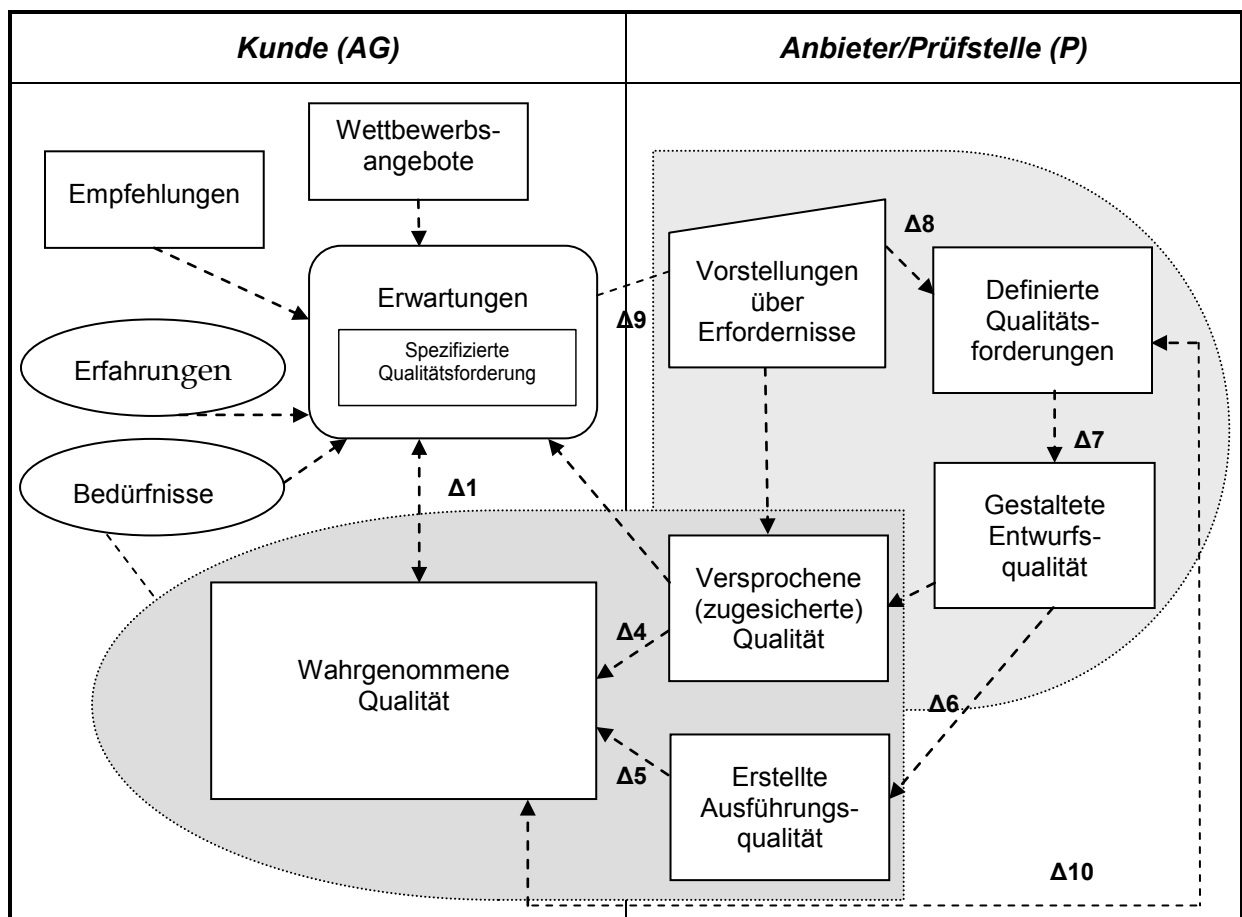


Abbildung 5.3: Sichtweisen der Qualität im Regelkreis der Qualitätskontrolle in Anlehnung an SEGHEZZI und HANSEN [SEGHEZZI, 1993]

5.2 Anforderungen an den Prozess der Qualitätskontrolle

5.2.1 Kundenanforderungen

Das Qualitätssicherungssystem im Asphaltstraßenbau ist darauf ausgelegt, die Qualität von Leistungen mit Merkmalen eindeutig und hinreichend so zu beschreiben, dass die Einhaltung der Spezifikationen mit niedergelegten Anforderungen geprüft werden kann. Bedürfnisse der Kunden (AG) stehen nicht im Vordergrund. Die im Kontext dieser Arbeit durchgeführte Literaturstudie zeigt, dass spezifizierte Kundenanforderungen vorliegen. Die RAP Stra [FGSV, 2004] definiert Anforderungen, die Prüfstellen zur Anerkennung erfüllen müssen. Es lassen sich hieraus folgende an Prüfstellen gerichtete Kundenanforderungen ableiten:

- Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge
- Zutreffende Ergebnisse
- Unabhängigkeit und Objektivität
- Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen
- Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte

Aus der Literatur (s.a. Kapitel 4.2) können weitere Kundenanforderungen abgeleitet werden:

- Angemessenheit der Dienstleistung
- Weiterführende Bewertung der Ergebnisse
- Flexibilität, Verfügbarkeit

5.2.2 Expertenbefragung zur Ermittlung der Kundenbedürfnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine Befragung von Experten der Auftraggeberseite durchgeführt, die als Kunden Bedürfnisse und Erwartungen an den Prozess der Qualitätskontrolle stellen. Ein Abgleich der bestehenden spezifizierten Forderungen mit den Bedürfnissen und Erwartungen der Experten kann mögliche Qualitätsdefizite im Prozess der Qualitätskontrolle aufzeigen.

Konzeption der Expertenbefragung

Die Expertenbefragung wurde in Form eines Leitfadengesprächs durchgeführt. Der erstellte Leitfaden in **Anlage 1-1** besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil enthält Leitfragen. Hierdurch wird eine offene Gesprächsführung mit den Experten ermöglicht. Die offene Fragetechnik lässt erweiterte Antwortspielräume zu.

Der zweite Teil enthält eine Skalafrage zu den bestehenden Kundenanforderungen, die im Rahmen der Literaturstudie ermittelt worden sind. Die Experten haben die Bedeutung dieser Kundenanforderungen auf einer Skala von 1 (trifft nicht zu) bis 5 (trifft voll zu) hinsichtlich ihrer Bedürfnisse zu bewerten.

Die Kombination der beiden Fragetechniken in vorgesehener Reihenfolge soll ermöglichen, ein Abbild über die Bedürfnisse der Befragten zu dem Thema zu erhalten, ohne vorweg Assoziationen zu beeinflussen. Mit der Häufigkeitsfrage wird abschließend eine Rangordnung der bereits definierten „Kundenanforderungen“ erstellt. Voruntersuchungen konnten den Leitfaden hinsichtlich seiner Validität und Reliabilität untersuchen und zur Verbesserung der Fragen führen.

Zu dieser Befragung wurden 16 Experten aus der Straßenbauverwaltung ausgewählt, die mit der Vergabe von Kontrollprüfungen vertraut sind. Von den Experten haben 8 eine Leitungsfunktion und 8 eine Sachbearbeiterfunktion. Da die Praxis der Durchführung von Qualitätskontrollen zwischen den Bundesländern sehr unterschiedlich sein kann, wurden Experten der Bundesländer Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Thüringen befragt. Die vorliegende Anzahl der Datensätze lässt tendenzielle Aussagen zu.

Auswertung und Ergebnisse der Expertenbefragung

Innerhalb des ersten Befragungsteils konnte sehr offen gesprochen werden. Die Befragten teilten Ihre Vorstellungen und Erwartungen mit. Die Aussagen waren sehr vielfältig und heterogen. Bezüglich der Wünsche und Bedürfnisse an die Leistung einer Prüfstelle wurde in vielen Fällen darauf hingewiesen, dass diese nur dann beauftragt werden kann, wenn eine Anerkennung nach RAP Stra [FGSV, 2004] vorliegt. Die verschiedenen Aussagen wurden stichpunktartig protokolliert. Einige der Befragten berichteten auch von positiven Erfahrungen, die sie mit Prüfstellen haben, weshalb wiederholt auf diese Prüfstellen zurück gegriffen wird. In einigen Regionen ist auch eine lokale Abhängigkeit zu ortsansässigen anerkannten

Prüfstellen zu beobachten, die dann aufgrund einer größeren Flexibilität ausgewählt werden.

Mit den Aussagen der Experten konnten keine weiteren Kundenanforderungen formuliert werden. Alle relevanten Aussagen können den bereits zuvor definierten Kundenanforderungen zugeordnet werden. Dieser Sachverhalt zeigt die Wirkung von spezifizierten Forderungen im Asphaltstraßenbau auf. Die Auftraggeber wenden die Regelwerke an und beauftragen, die ihnen bekannten und anerkannten Prüfstellen für die Durchführung der Prüfungen, um bestehende Anforderungen auf Erfüllung überprüfen zu lassen. Es bestehen nur in Einzelfällen individuelle Bedürfnisse, die eine Auswahl von Prüfstellen beeinflussen.

Die Skalafrage wurde von allen Befragten beantwortet. Die Auswertung ist der **Anlage 1-2** zu entnehmen. Es liegen ordinalskalierte Variablen in einer Häufigkeitstabelle vor, weshalb kein arithmetisches Mittel, sondern ein Median berechnet wird. Der gerundete Wert des Medians entspricht dem Bedeutungsmaß eines Merkmals. Zur genaueren Berechnung des Medians wird die Schätzformel der Gleichung 2 nach ZÖFEL [2002] verwendet:

$$\text{Median} = x_m - 0,5 + \frac{1}{f_m} \times \left(\frac{n}{2} - F_{m-1} \right)$$

mit :

| | | |
|-----------|---|---------------|
| x_m | Wert der m -ten Kategorie | (Gleichung 2) |
| f_m | Häufigkeit der m -ten Kategorie | |
| F_{m-1} | kumulierte Häufigkeit bei der Kategorie $m-1$ | |
| n | Gesamtsumme der Häufigkeiten | |

Für jedes der Merkmale „Kundenanforderung“ liegen 16 Datensätze vor. Eine Unterscheidung der Ergebnisse zwischen den Befragten „Leitungsebene“ und „Sachbearbeiterebene“ ist möglich, doch der Nachweis einer Signifikanz aufgrund des geringen Datenmaterials war nicht durchführbar. Die berechneten Mediane eines Merkmals weisen im Vergleich der Befragungsebenen gleiche Größenordnungen auf. Eine tendenziell höhere Bedeutung messen die Befragten der Leitungsebene dem Merkmal „Angemessenheit der Dienstleistung“ bei, während die Befragten der Sachbearbeiterebene den Merkmalen „Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen“ und „Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte“ eine höhere Bedeutung beimessen.

Die Abbildung 5.4 zeigt die prozentualen Häufigkeiten aller Merkmale „Kundenanforderungen“ aus der Expertenbefragung. Mit jeweils 16% beurteilen die Experten die Merkmale „Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge“, „Zutreffende Ergebnisse“ und „Unabhängigkeit und Objektivität“ als die wichtigsten Anforderungen, die Prüfstellen erfüllen müssen. Eine „Weiterführende Bewertung der Ergebnisse“ wird von den Experten mit 7% als weniger wichtig eingestuft. Die Kundenanforderungen geben bei der Expertenbefragung auch die Kundenbedürfnisse wieder.

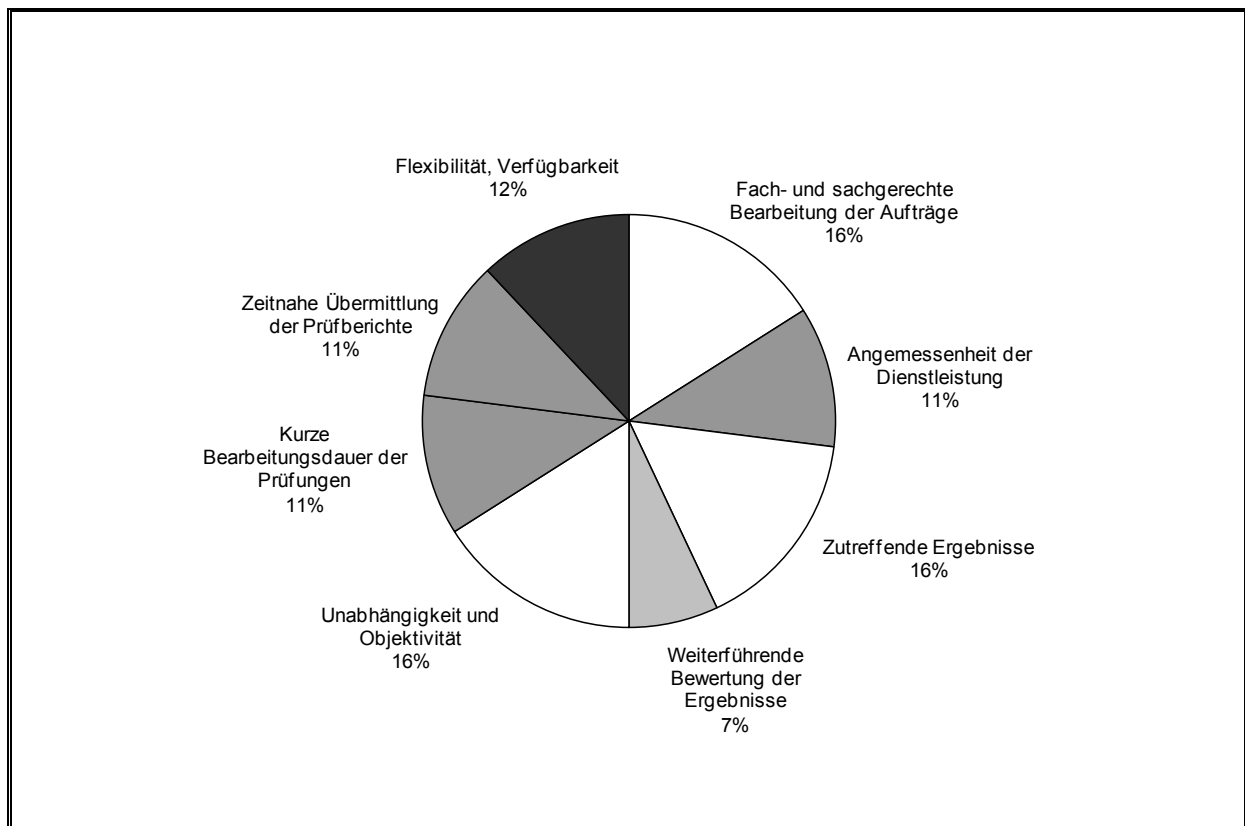


Abbildung 5.4: Prozentuale Häufigkeiten der Kundenanforderungen

5.2.3 Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen

Der Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen kann mit Anwendung des Quality Function Deployment (QFD) (s.a. Kapitel 4.1.6) ermittelt werden. Es ist hierzu eine Beziehungsmatrix zwischen den Kundenanforderungen bzw. -bedürfnissen der relevanten Kundengruppe und den Qualitätsmerkmalen der zu erbringenden

Leistung aufzubauen.

Die relevante Kundengruppe ist mit dem Auftraggeber, der die Dienstleistung der Qualitätskontrolle beauftragt ebenso definiert, wie die zu erfüllenden Kundenanforderungen, die bereits in Kapitel 5.2.2 festgelegt worden sind. Die Gewichtung dieser Kundenanforderungen liegt mit der Ermittlung der Bedeutungsmaße vor.

Festlegung von Qualitätsmerkmalen

Die Qualitätsmerkmale der Dienstleistung sind aus Sicht der Prüfstelle zu definieren. Hierzu fand mit Mitarbeitern der Prüfstelle, der Versuchsanstalt für Straßenwesen der Technischen Universität Darmstadt, ein kreativer Gedankenaustausch statt. Mit der Anwendung der „Mind Mapping“ Methode wurde eine Vielzahl an Gedanken visualisiert und erste Ansätze für die Formulierung von Qualitätsmerkmalen protokolliert. In den Gesprächen wurde der Ansatz verfolgt, wie eine Prüfstelle ihre Leistung erbringt, um Kundenanforderungen erfüllen zu können. Aus der Literaturanalyse lassen sich weitere Qualitätsmerkmale ermitteln, die aufzeigen wie eine Prüfstelle Kundenanforderungen erfüllen kann. Wesentliche Grundlagen hierfür bilden die Grundsätze des Qualitätsmanagements mit Aufbau eines Qualitätsmanagementsystem (s.a. Kapitel 4.1.2) in Prüfstellen sowie die vorliegenden Spezifikationen nach RAP-Stra [FGSV, 2004]. Aus der Recherche und dem Gedankenaustausch lassen sich die folgenden Qualitätsmerkmale definieren:

- Sachgerechte Probenahme
- Normgerechte Prüfungsdurchführung
- Effiziente Arbeitsweise
- Qualifizierte Fachkräfte
- Prüfmittelüberwachung
- Lenkung der Dokumente
- Probeneingangsmanagement

Aufbau und Auswertung einer Beziehungsmatrix

Die QFD – Beziehungsmatrix zwischen den Kundenanforderungen und den Qualitätsmerkmalen wird in **Anlage 1-3** aufgebaut. Mit den Ziffern (0=nicht, 1= möglich, 2=schwach, 3=stark) werden durch sachliche Feststellung, in welchem Maße die gefundenen Qualitätsmerkmale die Kundenanforderungen erfüllen, die Beziehungen hergestellt. Für jedes Qualitätsmerkmal lassen sich Bedeutungsmaß und Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen rechnerisch ermitteln. Die Optimierungsrichtung der Qualitätsmerkmale werden ebenfalls angegeben. Im Rahmen dieser Arbeit wird die erstellte Matrix nicht auf ein konstruiertes Qualitätshaus erweitert. Für die Auswertung sind Untersuchungen der Wechselwirkungen zwischen den Qualitätsmerkmalen, die Angabe von Zielwerten und Schwierigkeitsgraden und ein Wettbewerbsvergleich nicht relevant.

Anhand der Bedeutungsmaße kann in der QFD – Matrix eine Rangfolge der Qualitätsmerkmale, die Kundenanforderungen erfüllen, ermittelt werden. Die Tätigkeiten in der Prüfstelle, denen die Qualitätsmerkmale mit den höchsten relativen Erfüllungsgraden zugeordnet werden können, sollten umso mehr geeignet sein, die an sie gestellten hohen Anforderungen zu erfüllen. Qualitätsfähig sollten auch die Tätigkeiten sein, die Qualitätsmerkmale mit Kundenanforderungen der höchsten Gewichtung enthalten.

Mit den ermittelten relativen Erfüllungsgraden der Qualitätsmerkmale „Normgerechte Prüfungsdurchführung“ von 19 Prozent und „Sachgerechte Probenahme“ von 18 Prozent können die Kundenanforderungen am besten abgedeckt werden. Diese Qualitätsmerkmale erfüllen auch die Kundenanforderungen mit hoher Gewichtung. Die weiteren Qualitätsmerkmale „Qualifizierte Fachkräfte“ mit 15 Prozent und „Effiziente Arbeitsweise“ mit 16 Prozent weisen ebenfalls hohe Erfüllungsgrade auf und können die Kundenanforderungen teilweise abdecken. Die Qualitätsmerkmale „Lenkung der Dokumente“, „Prüfmittelüberwachung“ und „Probeneingangsmanagement“ können mit relativen Erfüllungsgraden von 12, 11 und 8 Prozent die Kundenanforderungen nicht ausgewogen abdecken. Die Abbildung 5.5 fasst das Ergebnis der Auswertung zusammen. Die Tätigkeiten der „Probenahme“ und der „Durchführung der Prüfungen“ besitzen demnach eine große Wirkung auf die wahrgenommene Qualität des Kunden und müssen innerhalb des Prozesses „Qualitätskontrolle“ prozesssicher gestaltet werden.

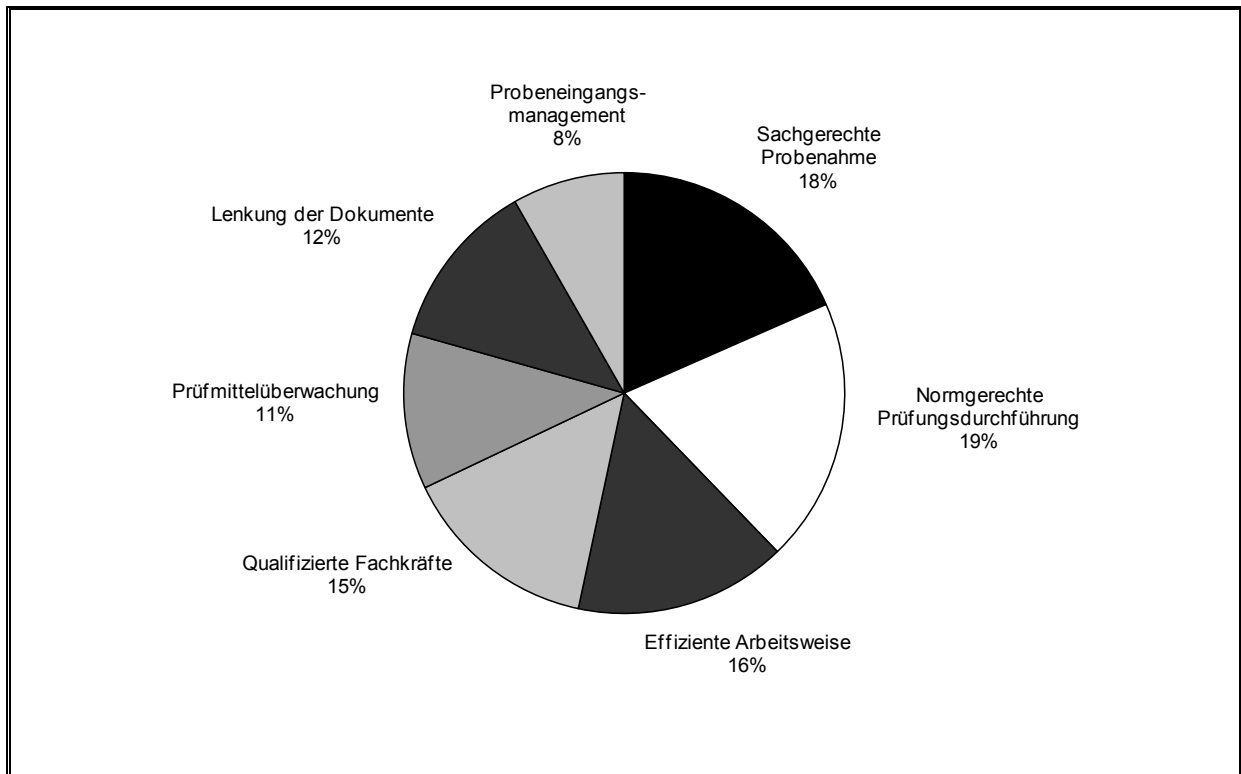


Abbildung 5.5: Relative Erfüllungsgrade der Kundenanforderungen durch Qualitätsmerkmale

5.3 Prozessanalyse und Risikobewertung der Qualitätskontrolle

5.3.1 Allgemeines

In der in Kapitel 5.1.3, Abbildung 5.2 aufgezeigten Qualitätskontrolle sind grundsätzlich drei Prozesse zu unterscheiden:

- Kontrollprüfung
- Zusätzliche Kontrollprüfung
- Schiedsuntersuchung

Die einzelnen Prozesse werden in Kapitel 4.2.3 definiert. Die Kunden-Lieferantenbeziehungen können sich in den Prozessen unterscheiden. Die Prozesse „Zusätzliche Kontrollprüfung“ und „Schiedsuntersuchung“ bedingen, dass die Kontrollprüfung vorher abgelaufen ist und mit Fehlern behaftet war.

Bei Schiedsuntersuchungen können sich diese Fehler aus Messergebnissen

durch Erfassung der quantitativen Qualitätsmerkmale ableiten. Es sind neben groben Fehlern grundsätzlich auch systematische und zufällige Fehler möglich. Ein Anlass für Schiedsuntersuchungen können unverträgliche Messergebnisse sein, die sowohl auf zufällige als auch auf systematische Abweichungen oder auf grobe Fehler beruhen. Systematische Fehler beeinflussen die Richtigkeit, zufällige Fehler die Präzision. [Beuth, 1987]. Ein quantitativer Ausdruck für die Größe der zufallsbedingten Abweichungen ist die Vergleichbarkeit, die dazu dient, die Verträglichkeit zweier Ergebnisse auch im Rahmen von Schiedsuntersuchungen zu untersuchen. Bei einem Massen- und Schüttgut wie Asphalt müssen Streuungen nicht herstellbedingt sein, sondern können sich maßgeblich aus stoffliche Inhomogenitäten oder Probenahmen ableiten.

Eine Vollprüfung (s.a. Kapitel 4.2.4) ist in der Qualitätskontrolle grundsätzlich nicht möglich, weshalb eine Stichprobenprüfung angewendet wird, die bei Kontrollprüfungen mit formulierten Qualitätsanforderungen zu einer Entscheidung über Abnahme oder Rückweisung einer Leistung führt. Die Stichprobenprüfung ist für die Prozessbeteiligten mit Risiken verbunden, da Entscheidungen auf Stichprobenbasis Fehlentscheidungen ermöglichen. Der Prüfplan mit Fehlentscheidungen [FGSV, 2004] basiert darauf, dass ein akzeptables Prüflos fälschlicherweise abgelehnt werden kann (Fehlentscheidung 1. Art), jedoch auch ein nicht akzeptables Prüflos angenommen werden kann (Fehlentscheidung 2. Art).

Zusätzliche Kontrollprüfungen beruhen darauf, dass Fehlentscheidungen erster und zweiter Art eingegrenzt werden können, wenn anzunehmen ist, dass ein Ergebnis einer Kontrollprüfung nicht kennzeichnend für die zugeordnete Fläche ist. In diesem Fall ist die zugeordnete Fläche als Prüflos zu betrachten.

Die beschriebenen Prozesse der Qualitätskontrolle, deren Ergebnisse die Qualitätsbeurteilung des Produktes „Asphaltstraße“ ist, werden in den folgenden Kapiteln analysiert und in Prozesselemente unterteilt.

5.3.2 Prozessstruktur der Qualitätskontrolle

Die Prozesselemente lassen sich aus dem bestehenden Regelwerk ableiten. Voruntersuchungen zur Prozessanalyse von Kontrollprüfungen hat Mix [2003] durchgeführt. Aus Sicht einer Prüfstelle können für den Prozess der Kontrollprüfungen die Prozesselemente der Abbildung 5.6 festgelegt werden. Prozessbeteiligte sind der Kunde (AG) und die Prüfstelle (P) mit gemeinsamen

Schnittstellen. Die Schnittstellen sind bereits im Kapitel 5.1.4 definiert. Die Prozessstruktur der „Zusätzlichen Kontrollprüfung“ und der „Schiedsuntersuchung“ entspricht der Prozessstruktur einer Kontrollprüfung.

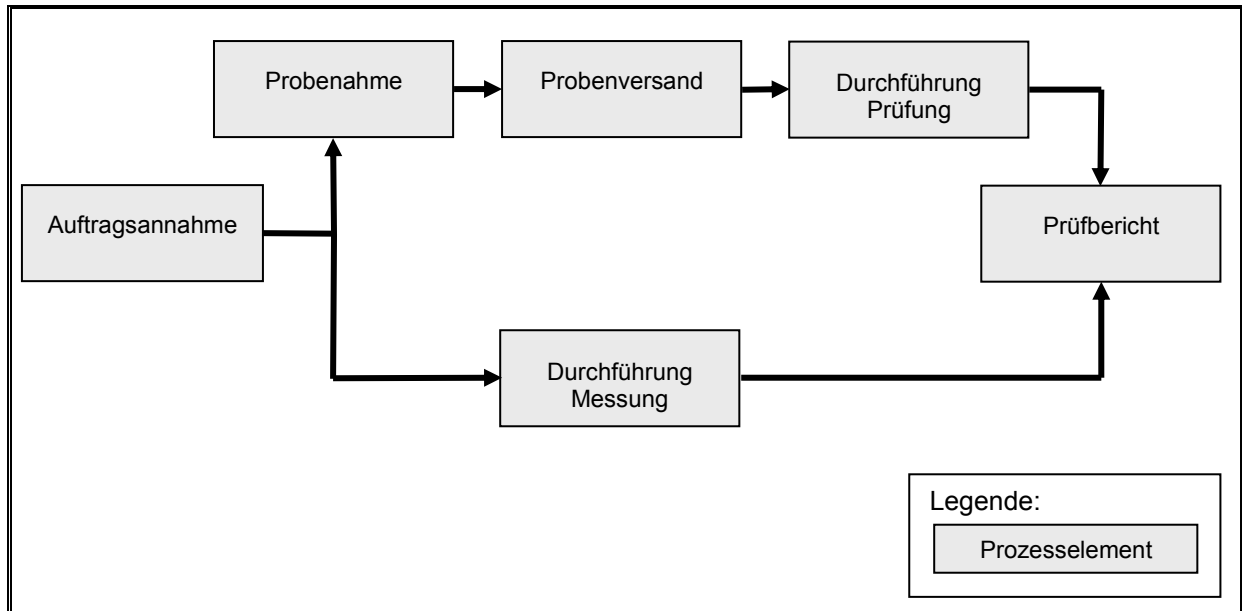


Abbildung 5.6: Prozesselemente der Kontrollprüfung

Prozesselement „Auftragsannahme“

Die Auftragsannahme als Prozesselement beschreibt die Schnittstelle aus Sicht der Prüfstelle zwischen dem Kunden (AG) und der Prüfstelle (P) zum Zeitpunkt des Erstkontakts. Der Auftrag zur Durchführung einer Kontrollprüfung wird zumeist vorab telefonisch erteilt und anschließend schriftlich bestätigt. Im Zusammenhang mit der Auftragsvergabe erwartet der Kunde eine „Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen“ und eine „Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte“ (s.a. Kapitel 5.2.1). Den Zeitbedarf zur Erbringung der Dienstleistung kann der Kunde bereits über den durch Regelwerke festgelegten Umfang subjektiv abschätzen. Die Prüfstelle muss bereits bei Auftragsannahme so organisiert sein, dass sie dem Kunden Ortstermine oder Termine zur Abwicklung des Prüfauftrages verbindlich mitteilen kann.

Mit der Kundenanforderung „Angemessenheit der Dienstleistung“ wird angesprochen, dass die Prüfstelle eine „Fach- und sachgerechte Bearbeitung des Auftrags“ in angemessener Zeit zu marktgerechten Preisen anbietet. Bei

Auftragsannahme sollte dem Kunden (AG) ein Leistungskatalog vorliegen.

Der Erstkontakt in der Prüfstelle erfolgt mit der Anfrage des Kunden, die bei freien Kapazitäten in der Prüfstelle und bekanntem Leistungskatalog in der Regel zur Auftragsannahme führt. Der Neukunde nimmt bereits über den Erstkontakt die fachliche und soziale Kompetenz des „Qualifizierten Mitarbeiters“ wahr. Aus dieser Wahrnehmung entwickelt sich bereits das Vertrauen zur Leistungsfähigkeit der Prüfstelle.

Zum Zeitpunkt der Auftragsannahme muss der Kunde (AG) der Prüfstelle Informationen bereit stellen, damit der Prüfauftrag normkonform durchgeführt werden kann. Diese Informationen betreffen die Bereitstellung von Proben bzw. die Beauftragung der Probenahme, Überreichen von Dokumenten des Bauvertrags und Eignungsnachweise der Baustoffe. Die Prüfstelle benötigt genaue Vorstellungen über dem Umfang des Prüfauftrags und der anzuwendenden Regelwerke, um die Dienstleistung ausführen zu können und die ermittelten Ergebnisse den vertraglichen Anforderungen gegenüberzustellen.

Prozesselement „Probenahme“

Das Prozesselement Probenahme ist für die Qualitätsbeurteilung grundlegend. Die „Sachgerechte Probenahme“ ist eine der Voraussetzungen für die „Ermittlung zutreffender Ergebnisse“. Die Durchführung von Probenahmen ist dann erforderlich, wenn die Beschaffenheit des Prüfgutes nicht „in situ“, sondern unter genormten Prüfmethoden und -geräten im Laboratorium festgestellt werden muss. Grundsätze der Probenahme sind im Technischen Regelwerk beschrieben. Die TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009], die auf der DIN EN 12697-27 [2000] basiert, beschreibt Verfahren zur Probenahme von Asphalt. Die Probenahme ist unter Aufsicht je eines Bevollmächtigten und in Gegenwart der am Bauvertrag beteiligten Parteien durchzuführen. Dies kann für den Kunden (AG) die Prüfstelle (P) sein. Der Probenehmer muss den Zweck der Probenahme kennen und die „Fachliche Qualifikation“ besitzen, diese auch ausführen zu können. Neben der sachgerechten Entnahme muss eine sofortige Kennzeichnung der Proben erfolgen, damit die Proben jederzeit richtig zugeordnet werden können. Als besondere Leistung kann auch der Kunde (AG) seinem Lieferanten (AN) unter Aufsicht die Probenahme, die zweifelsfreie Kennzeichnung und die versandfertige Verpackung der Proben übertragen.

Die Größe oder Menge der zu entnehmenden Proben richtet sich nach dem Umfang der durchzuführenden Untersuchungen. Im Rahmen von Kontrollprüfungen werden zur Bestimmung der Beschaffenheit des Asphaltmischguts Mischgutproben entnommen. Die entnommenen Proben werden in Teilproben aufgeteilt, wovon die Prüfstelle (P) eine erhält. Die weiteren Teilproben sind für den Lieferanten (AN), Zulieferanten (L) und für den Kunden (AG) vorgesehen. Die Teilprobe des Kunden (AG) dient gleichzeitig als Rückstellprobe für etwaige Schiedsuntersuchungen. Eine Schiedsuntersuchung darf sich jedoch nicht auf Zweifel einer unsachgemäßen Probenahme begründen. Schiedsuntersuchungen müssen in solchen Fällen an Proben aus Ausbaustücken (Bohrkernen) durchgeführt werden. Die TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009] beschreibt, dass auch der Lieferant (L) vom Auftragnehmer (AN) unterrichtet werden muss.

Für die Prüfverfahren, die im Labor zur Bestimmung der fertigen Leistung durchzuführen sind, müssen im Rahmen von Kontrollprüfungen aus der eingebauten Schicht Ausbaustücke (Bohrkerne) entnommen werden. Bei der Probenahme wird in diesen Fällen nur eine Teilprobe für den Kunden (AN) entnommen.

Der Prozess der Probenahme besitzt demnach Schnittstellen zu allen Prozessbeteiligten der Bauausführung (s.a. Kapitel 5.1.3, Abbildung 5.2).

Bei der Entnahme der Mischgutprobe muss sichergestellt werden, dass die Probe die gleiche Beschaffenheit aufweist wie die Ladung des Transportfahrzeugs. Als Ort für die Probenahme hat sich in der Praxis der Bereich der Verteilerschnecke des Straßenfertigers etabliert und entspricht damit der TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009].

Das Verfahren nach der DIN 1996 [Beuth, 1994] empfiehlt durch Umsetzen, Vierteilen und Ausscheiden auf einem Probenahmeblech eine vorher mit Schaufeln gewonnene Sammelprobe soweit zu reduzieren, dass nur die zur Gewinnung von Teilproben benötigte Mischgutmenge verbleibt. Diese Vorgehensweise zur Gewinnung von Teilproben ist nicht explizit in der TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009] beschrieben.

Das Ablaufschema nach DIN 1996 [Beuth, 1994] der Abbildung 5.7 zeigt den Einfluss der Probenahme auf die Teilprobe, an der in der Prüfstelle nach Probeteilung und Prüfung die Ergebnisse ermittelt werden. Prüfergebnisse unterliegen demnach Streuungen aus herstellbedingten Abweichungen und aus den Probenahmen sowie den Vertrauensbereichen der Prüfungen.

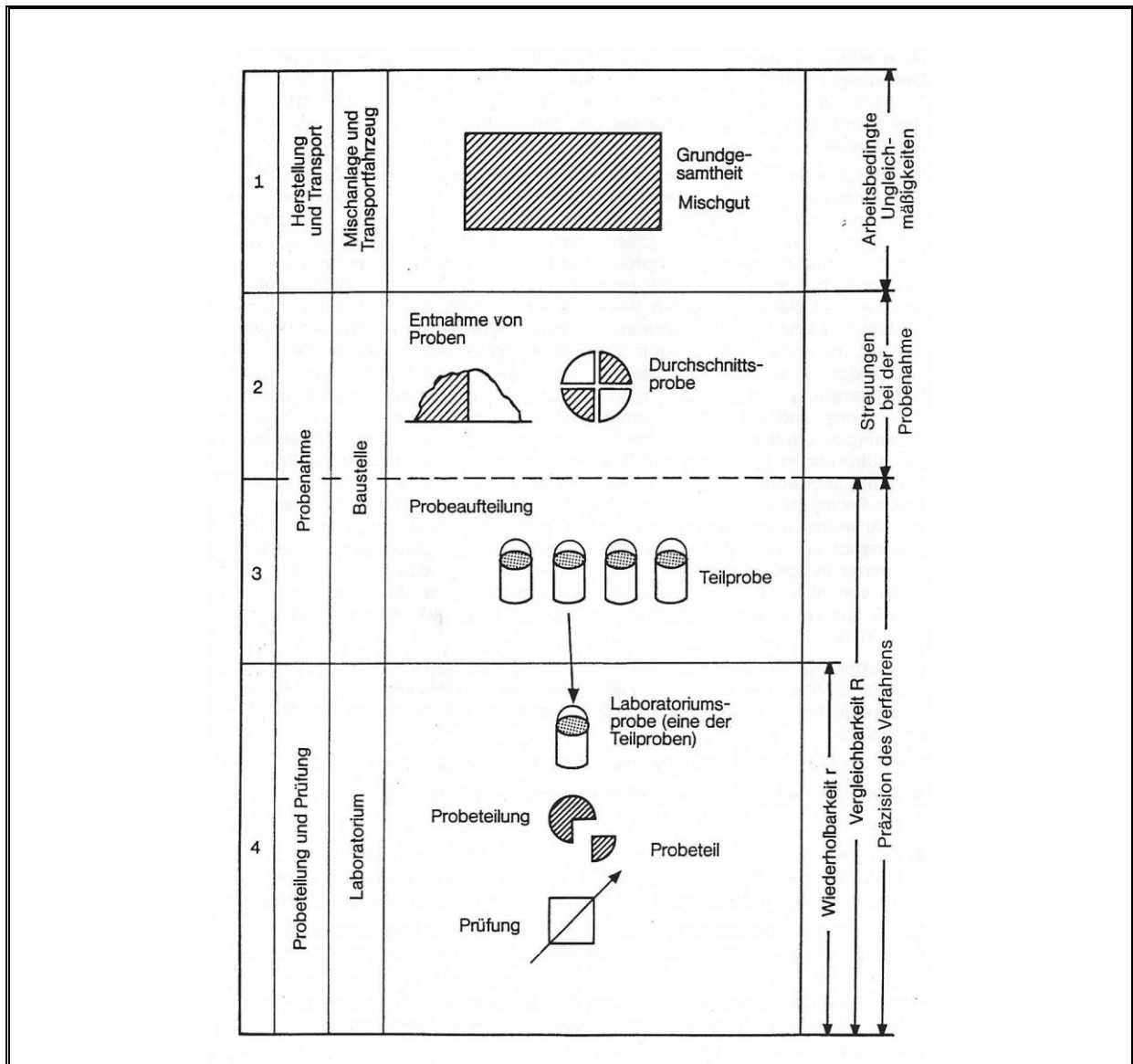


Abbildung 5.7: Ablaufschema für die Probenahme und Prüfung von Asphaltmischgut nach DIN 1996, Blatt 1 [Beuth, 1994]

Wesentlicher Bestandteil der Probenahme ist die Dokumentation der Probenahme in einer Niederschrift. Die Prüfstelle (P) ist auf alle Informationen der Entnahme angewiesen. Angaben aus dem Eignungsnachweis und zum Untersuchungsauftrag vervollständigen alle Informationen.

Mit ihrer Unterschrift bestätigen Kunde (AG) und Lieferant (AN) die Durchführung einer sachgemäßen Probenahme. Die Niederschrift sollte dreifach angefertigt werden. Zwei Ausfertigungen verbleiben bei den Beteiligten und eine wird der Prüfstelle ausgehändigt.

Prozesselement „Probenversand“

Nach durchgeführten Probenahmen müssen alle Teilproben die gleiche äußere Beschaffenheit und Kennzeichnung aufweisen. Das Verpacken der Proben erfolgt an den Entnahmestellen. Nach der TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009] müssen Asphaltmischgutproben von Walzasphalt in sauberen, innen nicht lackierten Blechgefäßen verpackt und transportiert werden. Direkt nach dem Befüllen müssen die Behälter verschlossen werden.

Die Ausbaustücke (Bohrkerne) müssen so verpackt werden, dass die Proben den Transport bis zur Prüfstelle unversehrt überstehen. Die Beschriftung von Ausbaustücken muss lesbar und dauerhaft sein.

Die Übergabe der Proben einer Kontrollprüfung an eine Prüfstelle obliegt den Kunden (AG), um Missbrauch vorzubeugen.

Prozesselemente „Durchführung Prüfung“ und „Durchführung Messung“

Die Prozesselemente „Durchführung der Prüfung“ und „Durchführung der Messung“ sind Teil interner Prozesse von Organisationen, die auf die fach- und sachgerechte Durchführung spezialisiert sind. Im Prozess der Kontrollprüfung sind Messungen, die „in situ“ durchgeführt werden von Prüfungen zu unterscheiden, die unter definierten Bedingungen im Laboratorium erfolgen. Die Art und der Umfang von im Laboratorium durchzuführenden Prüfungen sind in der Abbildung 5.8 nach ZTV Asphalt [FGSV, 2007] aufgezeigt.

Prüfungen am Asphaltmischgut erfolgen je Asphaltschicht und -lage an Proben, die aus dem laufenden Herstellungsprozess entnommen werden. Die sachgemäße Probenahme ist eine grundlegende Voraussetzung für die fach- und sachgerechte Durchführung der Prüfungen. Ein Prüflaboratorium, dass nach RAP Stra [FGSV, 2004] anerkannt ist, erfüllt die Grundvoraussetzungen für die Durchführung von Kontrollprüfungen. Eine Prüfstelle sollte ein prozessorientiertes Qualitätsmanagement eingeführt haben und auch die Qualitätsmerkmale (s.a. Kapitel 5.2.3, Abbildung 5.5) zur Erfüllung der Kundenanforderungen umsetzen. Die einzelnen Prüfmerkmale werden nach festgelegten Prüfvorschriften (TP Asphalt [FGSV, 2009]) ausgeführt. Ein Prüflaboratorium kann sich darüber hinaus mit der Teilnahme an Ringanalysen durch vergleichende Untersuchungen mit anderen

Prüfstellen selbst kalibrieren und die Qualität der Prüfdurchführung verbessern.

| Art der Prüfung \ Schicht | Asphaltdeckschicht aus | | | | | |
|--|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| | Asphalttrag- schicht | Asphalttrag- deckschicht | Asphalt- binderschicht | Asphaltbeton, Splittmastixasphalt | Gussasphalt | Offenporigem Asphalt |
| 1. Asphaltmischgut^{1) 2)} | | | | | | |
| 1.1 Korngrößenverteilung | X | X | X | X | X | X |
| 1.2 Bindemittelgehalt | X | X | X | X | X | X |
| 1.3 T_{RAB} des rückgewonnenen Bindemittels | X | X | X | X | X | X |
| 1.4 elastische Rückstellung des rückgewonnenen Polymermodifizierten Bindemittels | – | – | X | X | X | X |
| 1.5 Raumdichte und Hohlraumgehalt am Probekörper | X | X | X | X | X ³⁾ | X |
| 1.6 statische Eindringtiefe (einschließlich Zunahme nach weiteren 30 Minuten Prüfzeit) | – | – | – | – | X | – |
| 2. Eingebaute Schicht | | | | | | |
| 2.1 Einbaudicke bzw. Einbaumenge | X | X | X | X | X | X |
| 2.2 Hohlraumgehalt ¹⁾ | – | X | – | X | – | X |
| 2.3 Verdichtungsgrad ¹⁾ | X | X | X | X | – | X |
| 2.4 Schichtenverbund ¹⁾ | X | – | X | X | X | – |
| 2.5 profilgerechte Lage (Querneigung) | X | X | X | X | X | X |
| 2.6 Ebenheit | X | X | X | X | X | X |
| 2.7 Griffigkeit | – | X | – | X | X | X |

¹⁾ Für jede Schicht und je angefangene 6000 m² Einbaufäche eine Probe; bei Bedarf kann die Anzahl der Proben erhöht werden (z.B. im Stadtstraßenbau, bei Brückenbelägen).

²⁾ Gegebenenfalls besondere Zuschlagstoffe und Zusätze.

³⁾ Nur Raumdichte am Probewürfel.

Abbildung 5.8: Art und Umfang von Kontrollprüfungen nach ZTV Asphalt [FGSV, 2007]

An der eingebauten Schicht werden sowohl Laboratoriumsuntersuchungen an Probekörper bezüglich der Prüfmerkmale „Verdichtungsgrad“, „Hohlraumgehalt“ und „Schichtenverbund“ durchgeführt, sowie Messungen an der fertigen Leistung vor Ort. Für die im Laboratorium durchzuführenden Untersuchungen an der eingebauten Schicht müssen Ausbauproben aus der fertig gestellten Asphaltbefestigung entnommen werden. Mit einer zeitnahen Entnahme von Proben ist auch im Rahmen der Kontrollprüfung noch die Möglichkeit gegeben, einen indirekten Einfluss auf die Qualität zu nehmen.

Die Prüfmerkmale Einbaudicke, profilgerechte Lage, Ebenheit und Griffigkeit werden vor Ort mit Messverfahren quantifiziert. Für diese Verfahren bestehen jeweils Technische Prüfvorschriften. Im Einzelnen sind hier die TPD [FGSV, 1989], die TP Eben [FGSV, 2007] und die TP Griff [FGSV, 2007] zu nennen. Diese Messverfahren erfolgen erst nach Fertigstellung der Asphaltdeckschicht und können

die Qualität nicht beeinflussen. Im Fall von Griffigkeitsmessungen besteht für den Lieferanten (AN) auch die Möglichkeit eine erneute Kontrollprüfung zu verlangen, wenn Abnahmegrenzwerte unterschritten werden, die dann aufgrund des Einflusses der jahreszeitlichen Schwankungen auf das Messverfahren und der Problematik hinsichtlich der Anfangsgriffigkeit nach Verkehrsfreigabe im festgelegten Zeitraum erneut durchgeführt werden.

Die Beantragung von Schiedsuntersuchungen oder die Durchführung von zusätzlichen Kontrollprüfungen sind im Bedarfsfall nach ZTV Asphalt [FGSV, 2007] für alle Kontrollprüfungen am Asphaltmischgut und an der eingebauten Schicht möglich.

Prozesselement „Prüfbericht“

Im Prüfbericht werden alle Ergebnisse dokumentiert. Der Prüfbericht als schriftliches Dokument enthält alle Ergebnisse der zu untersuchenden Prüfmerkmale nach spezifiziertem Prüfplan. Die Abweichungen der ermittelten Ergebnisse von den Anforderungen nach Technischem Regelwerk werden von der Prüfstelle festgestellt und nach Gegebenheit beurteilt. Für diese Beurteilung müssen der Prüfstelle alle bauvertraglich relevanten Regelungen bekannt sein. Der Prüfbericht wird dem Kunden (AG) ausgehändigt und stellt die Grundlage für weitere Entscheidungen dar, die zur Annahme oder Rückweisung eines Prüfloses führen können. In vertraglicher Konstellation zwischen dem Kunden (AG) und Auftragnehmer (AN) können sich auf Grundlage der Qualitätsbeurteilung auch Nachbesserungen, Ersatzleistungen oder Preisabzüge für Wertminderungen ergeben.

Der Prüfbericht muss vom Prüfstellenleiter oder bei dessen Abwesenheit vom Stellvertreter unterzeichnet sein und inhaltlich dem Stand der Prüftechnik entsprechen. Falls unzulässige Abweichungen zu gültigen Vorschriften vorliegen, sind diese zu begründen. Alle relevanten Aufzeichnungen und Prüfberichte sind über einen Zeitraum von 10 Jahren aufzubewahren.

5.3.3 Merkmalstruktur der maßgeblichen Prozesselemente

Aus den im Kapitel 5.3.2 definierten Prozesselementen lassen sich Merkmale ableiten. Im Rahmen dieser Arbeit werden nur die Merkmale in den Schnittstellen

der Prozesselemente zwischen dem Kunden (AG) und der Prüfstelle (P) beschrieben, die Auswirkungen auf die Qualitätsbeurteilung der Leistung haben.

Prozesselemente, die diese Schnittstellen definieren sind „Auftragsannahme“, „Probenahme“, „Probenversand“ und „Prüfbericht“. Diesen Prozesselementen werden Merkmale zugeordnet, die aus der Literaturstudie ermittelt werden können. Merkmale beschreiben Arbeitsfolgen und Teilprozessschritte und können in einzelnen Fällen durch Spezifikationen ergänzt werden.

Die Merkmalsstruktur der maßgeblichen Prozesselemente ist in der Abbildung 5.9 dargestellt. Diese Merkmalsstruktur ist für die Prozesse „Kontrollprüfung“ und „Zusätzliche Kontrollprüfung“ anwendbar, jedoch nicht für „Schiedsuntersuchungen“ allgemeingültig. Schiedsuntersuchungen haben einen individuellen Prozessablauf, da nur die kritischen Prüfungen an Rückstellproben durchgeführt werden. Falls erneute Probenahmen erforderlich sind, folgt auch die Schiedsuntersuchung der Prozessstruktur einer Kontrollprüfung.

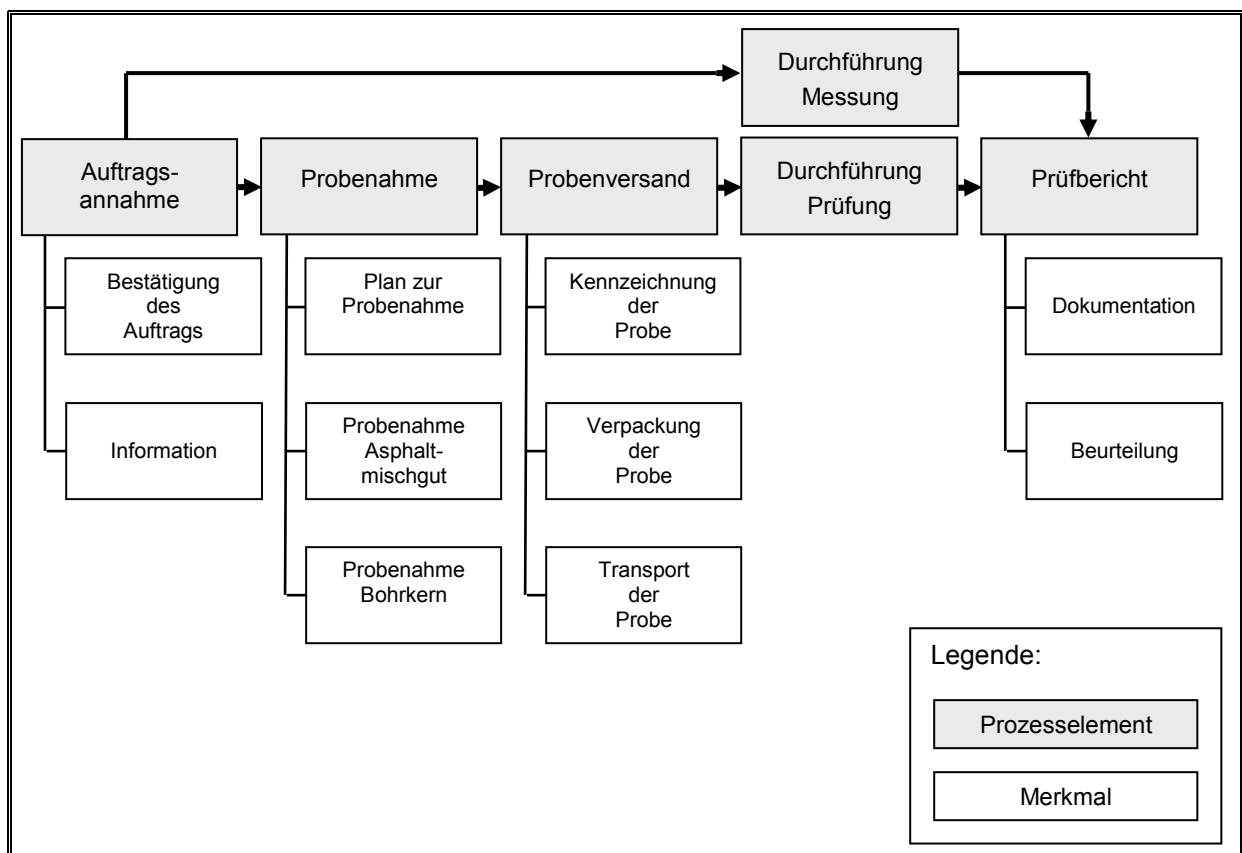


Abbildung 5.9: Merkmalsstruktur der Kontrollprüfung

Die Prozesselemente „Durchführung Prüfung“ und „Durchführung Messung“, die nicht weiter vertieft werden, bestehen aus festgelegten und spezifizierten Prüfabläufen innerhalb der Organisation. Der Kunde (AG) hat keinen direkten Einfluss auf die Verbesserung dieser Abläufe. Zum Zweck einer Qualitätsverbesserung hat jedoch der Kunde langfristig die Möglichkeit durch die Übermittlung eigener Bedürfnisse, die Prüfstelle (P) so zu motivieren, dass diese unter Einhaltung aller Spezifikationen kundenorientiert die Prüfaufträge abwickelt.

Die möglichen Qualitätsdefizite in den Schnittstellenbereichen der Prozessbeteiligten werden bereits in Kapitel 5.1.4 beschrieben. Die Merkmale der Prozesselemente „Auftragsannahme“, „Probenahme“ und „Probenversand“ beschreiben demnach die Schnittstellen $\Delta 9$ und $\Delta 4$ zwischen dem Kunden (AG) und der Prüfstelle (P). Die Merkmale des Prozesselements „Prüfbericht“ beschreiben die Schnittstelle $\Delta 5$.

5.3.4 Expertenbefragung zum Aufbau einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Für die Ermittlung der Fehler bedarf es den Erfahrungen ausgewiesener Experten. Die Expertenumfrage erfolgt in Form eines Leitfadengesprächs. Der erstellte Leitfaden in **Anlage 2-1** besteht aus zwei Teilen. Der hier relevante erste Teil enthält die Leitfragen zur Ermittlung der Schwachstellen im Prozessablauf der Qualitätskontrolle. Die offene Fragetechnik lässt erweiterte Antwortspielräume zu. Die vorherige Erstellung der Prozess- und Merkmalstruktur dient dem Aufbau des Leitfadens. Um von allen Experten auch Meinungen zu allen Prozesselementen zu erhalten, wurde in der Befragung vertiefend zu einzelnen Prozessschritten nachgefragt. Die Reihung der Expertenantworten ist zu vernachlässigen. Maßgebend ist, dass ein Meinungsbild zur gesamten Prozesskette von allen Experten geschaffen werden kann. Die Leitfragen wurden vorab auf Zuverlässigkeit geprüft.

Zu dieser Befragung wurden 18 Experten aus Prüfstellen ausgewählt, die nach RAP Stra [FGSV, 2004] für die Durchführung von Kontrollprüfungen anerkannt sind. Bei den Experten handelt es sich um Prüfstellenleiter bzw. stellvertretende Prüfstellenleiter, die entsprechende Erfahrungen auf dem Gebiet der Qualitätskontrolle aufweisen können.

In den Gesprächen konnten sowohl Fehler, die in den Prozessabläufen vorzufinden sind, als auch Fehlerfolgen und -ursachen stichpunktartig protokolliert werden. Es

erwies sich als Vorteil mit Gesprächsbeginn die freien Meinungen der Experten zu sammeln, um anschließend mit gezieltem Nachfragen die Grundlage für eine Zuordnung auftretender Fehler und Fehlerursachen zu den Prozessen, Prozesselementen und Merkmalen aufzubauen. Die Auswertung der Expertenbefragung erfolgt unmittelbar mit der Fehleranalyse und Risikobewertung einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA).

5.3.5 Fehleranalyse der maßgeblichen Prozesselemente

Die Analyse erfolgt mit einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA, s.a. Kapitel 4.1.6). Den Merkmalen der zu untersuchenden Prozesselemente der Prozesse „Kontrollprüfung“ und „Schiedsuntersuchung“ werden mögliche Fehlerursachen aus dem Herstellprozess zugeordnet, die das Ergebnis der Prozesse, die Qualitätsbeurteilung der Leistung des Herstellprozesses „Asphaltstraße“ beeinflussen. Diesen Fehlerursachen werden Fehler zugeordnet. Es werden hierbei alle denkbaren Fehlerursachen, die zu einem betrachteten Fehler führen können, benannt. Die Fehlerfolgen können durch das Auftreten der Fehler ermittelt werden und beschreiben die Auswirkung des Fehlers auf den Kunden.

Fehler, Fehlerfolgen und -ursachen sind mittels der Expertenbefragung nach Kapitel 5.3.4 bestimmt worden. Zusätzliche mögliche Fehler und Fehlerfolgen ergeben sich aus der Literaturstudie.

Die Fehlerursachen, die von den Experten genannt worden sind, sind in den **Anlagen 2-2** und **2-3** aufgeführt. Die Fehlerursachen werden den Prozesselementen Auftragsannahme, Probenahme, Probenversand und Prüfzeugnis zugeordnet und getrennt für die Prozesse Kontrollprüfung und Schiedsuntersuchung dargestellt. Insgesamt können 50 verschiedene Fehlerursachen, die zu Fehlern führen, aufgezeigt werden. Der Kontrollprüfungsprozess weist hierbei 36 verschiedene Fehlerursachen und der Prozess der Schiedsuntersuchung 35 verschiedene Fehlerursachen auf, wobei hiervon 21 Fehlerursachen auf beide Prozesse entfallen.

Die Fehler, Fehlerfolgen und -ursachen sind in einer Fehlersammelliste zusammengetragen. Je nach untersuchtem Prozess können Fehler auch Fehlerfolgen sein. In diesen Fällen konnte unter Anwendung des Ursache-Wirkungs-Diagramm strukturiert werden, welche Einflussgrößen (Ursachen) einer Haupteinflussgröße (Wirkung) unterliegen. Die Auswertung der Expertenbefragung konnte mit diesen

methodischen Hilfsmitteln erfolgen und eine Zuordnung getroffen werden.

Die Darstellung und Zuordnung von „Potentielle Fehler“, „Potentielle Folgen des Fehlers“ und „Potentielle Fehlerursachen“ den jeweiligen Prozessmerkmalen erfolgt unmittelbar in den Formblättern der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse in **Anlage 3**. Bestehende Maßnahmen, um Fehler zu vermeiden oder auch Maßnahmen, die dazu beitragen Fehler in den Prozessabläufen zu entdecken, werden aus der Literaturstudie entnommen und ebenfalls in die Formblätter der **Anlage 3** den jeweiligen Merkmalen zugeordnet. Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen sind Maßnahmen, die bereits bestehen und der Erreichung der Zuverlässigkeit dienen. Diese lassen sich aus den Spezifikationen des Technischen Regelwerks ableiten.

5.3.6 Risikobewertung

Die Aufgabe der Risikobewertung liegt darin, die Bedeutung der Fehlerfolge, die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache und die Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache zu bewerten. Die Risikobewertung erfolgt in den entwickelten FMEA – Formblättern der **Anlage 3**. Hierzu sind folgende Spalten eingerichtet:

- Spalte B im FMEA – Formblatt:
Bedeutung der Fehlerfolge
- Spalte A im FMEA – Formblatt:
Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache
- Spalte E im FMEA – Formblatt:
Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache

Bewertungszahl für die Bedeutung der Fehlerfolge

Die Bedeutung (B) bewertet die Fehlerfolge und ist ein Maß für die Auswirkung des betrachteten Fehlers aus Sicht des Kunden. Für die Bewertungszahl wird das Bedeutungsmaß der in Kapitel 5.2.2 ermittelten Kundenanforderungen herangezogen. Die Bewertungszahl für die Bedeutung (B) kann demnach Werte von 1 „Fehler besitzt sehr geringe Auswirkung auf die Erfüllung der

Kundenanforderung“ bis 10 „Nichterfüllung bedeutender Kundenanforderungen“ annehmen. Die Tabelle 5-1 zeigt die Bewertungszahlen für die Bedeutung (B), die in der FMEA der **Anlage 3** mit logischen Überlegungen der Spalte „Potentielle Folgen des Fehlers“ zugewiesen werden. Es werden jeweils die höchst möglichen Bewertungszahlen zugeordnet.

| Kundenanforderung | Bedeutungsmaß | Bewertungszahl B |
|---|----------------------|-------------------------|
| Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge | 5 | 10/(9) sehr hoch |
| Zutreffende Ergebnisse | 5 | 10/(9) sehr hoch |
| Unabhängigkeit und Objektivität | 5 | 10/(9) sehr hoch |
| Flexibilität und Verfügbarkeit | 4 | 8/(7) hoch |
| Angemessenheit der Dienstleistung | 3 | 6/(5)/(4) mäßig |
| Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen | 3 | 6/(5)/(4) mäßig |
| Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte | 3 | 6/(5)/(4) mäßig |
| Weiterführende Bewertung der Ergebnisse | 2 | 3/(2) gering |
| -- | 1 | 1 sehr gering |

Tabelle 5-1: Bewertungszahlen für die Bedeutung der Fehlerfolge

Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache

Die Bewertungszahl A wird für jede Fehlerursache festgelegt. Die Auftretenswahrscheinlichkeit wird als Auftretenshäufigkeit von Fehlerursachen angegeben und ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit mit der ein Fehler aufgrund der betrachteten Ursache auftreten kann. Aus der Expertenbefragung nach Kapitel 5.3.4 werden die Häufigkeiten der Nennungen von Fehlerursachen für jedes Prozessmerkmal ausgewertet. Die Ergebnisse der absoluten Häufigkeit von Fehlerursachen sind in den **Anlagen 2-2** und **2-3** dargestellt. Die Abfragetechnik zu allen Prozessmerkmalen stellt sicher, dass eine quantitativ umfassende Beurteilungsbasis der Expertenmeinungen zur Ermittlung der Häufigkeiten von Fehlerursachen gegeben werden kann. Aus der Expertenbefragung werden nur die Fehlerursachen in die Auswertung einbezogen, die den Prozessmerkmalen zugeordnet werden können. Mehrfachnennungen von gleichen Fehlerursachen zu einem Prozesselement eines Experten werden nicht berücksichtigt. Die maximale absolute Häufigkeit einer Fehlerursache ist demnach mit 18 zu beziffern. Die Tabelle 5-2 zeigt die Bewertungszahlen für die Auftretenswahrscheinlichkeit der

Fehlerursache (A), die den absoluten Häufigkeiten zugeordnet werden können. Die Bewertungszahlen der Fehlerursachen, aus denen sich Fehler generieren, reichen von 1 „Fehler sind unwahrscheinlich“ bis zu 10 „Fehler sind nahezu sicher“. Die Übertragung der absoluten Häufigkeiten aller Fehlerursachen zu den Bewertungszahlen (A) erfolgt direkt in den FMEA – Formblättern der **Anlage 3**.

| Beschreibung | Absolute Häufigkeit | Bewertungszahl A |
|---|----------------------------|-------------------------|
| Fehler nahezu sicher | 18 | 10 |
| Sehr große Zahl von Fehlern wahrscheinlich | 16-17 | 9 |
| Große Zahl von Fehlern wahrscheinlich | 14-15 | 8 |
| Mäßig große Zahl von Fehlern wahrscheinlich | 12-13 | 7 |
| Mittlere Zahl von Fehlern wahrscheinlich | 10-11 | 6 |
| Gelegentliche Fehler wahrscheinlich | 8-9 | 5 |
| Wenige Fehler wahrscheinlich | 6-7 | 4 |
| Sehr wenige Fehler wahrscheinlich | 4-5 | 3 |
| Fehler selten | 2-3 | 2 |
| Fehler unwahrscheinlich | 0-1 | 1 |

Tabelle 5-2: Bewertungszahlen für die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache

Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache

Für jede Fehlerursache ist festzustellen, ob Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen vorliegen. Es ist zu bewerten, ob durch die Entdeckungsmaßnahmen die Fehlerursachen entdeckt werden können. In manchen Fällen ist es nur möglich, den Fehler zu entdecken. Es muss einer Prüfstelle zur Qualitätsbeurteilung der Leistung die mögliche Fehlerursache bekannt sein, bevor die Prüfergebnisse dem Kunden zur Verfügung gestellt werden. Von dieser Zielsetzung ausgehend, lassen sich die Bewertungszahlen für die Entdeckungswahrscheinlichkeit E in Anlehnung an DGQ [2001 b] nach Tabelle 5-3 definieren. Die Angabe von prozentualen Wahrscheinlichkeiten von Nachweisverfahren können an dieser Stelle nicht gegeben werden. Eine Interpolation zwischen den Bewertungszahlen 10, 5 und 1 kann daher nicht erfolgen. Die Bewertung der Entdeckungsmaßnahmen erfolgt innerhalb der Fehlermöglichkeits-

und Einflussanalyse der **Anlage 3**.

| Entdeckungsmaßnahmen | Bewertungszahl E |
|---|-------------------------|
| Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist unwahrscheinlich, es sind keine Entdeckungsmaßnahmen festgelegt | 10 (sehr gering) |
| Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist wahrscheinlich, es bestehen festgelegte Entdeckungsmaßnahmen, Fehlerursachen können entdeckt werden | 5 (mäßig) |
| Aufgetretene Fehlerursache wird sicher entdeckt, es bestehen festgelegte Entdeckungsmaßnahmen | 1 (sehr hoch) |

Tabelle 5-3: Bewertungszahlen für die Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache in Anlehnung an DGQ [2001 b]

Berechnung der Risikoprioritätskennzahl

Die Risikoprioritätskennzahlen (RPZ) sind nach Gleichung 1 in der **Anlage 3** berechnet. Sie liefern einen Ansatzpunkt für den Optimierungsbedarf bei den Prozessschritten mit hohen RPZ-Kennzahlen oder hohen Einzelbewertungszahlen der Prozesse „Kontrollprüfungen“ und „Schiedsuntersuchungen“. Das Systemrisiko lässt sich anhand dieser Kennzahlen ableiten. Die berechneten Risikoprioritätskennzahlen reichen vom kleinsten Wert 6 bis zu den höchsten Werten 500. Die Kennzahlen sollten bei zusammenfassender Bewertung des Risikos nicht als absolute Zahlen angesehen werden, sie unterliegen zwar objektiven Einschätzungen, können letztlich aber nur Anhaltspunkte für mögliche Qualitätsdefizite in den untersuchten Prozessen sein.

5.3.7 Optimierungsbedarf der Qualitätskontrolle

In den Formblättern der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse der **Anlage 3** werden für alle Prozessmerkmale Maßnahmen vorgeschlagen, um eine Qualitätsverbesserung der Prozesse „Kontrollprüfung“ und „Schiedsuntersuchung“ zu erreichen. Vorrangiges Ziel der Maßnahmen ist es, die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens von Fehlerursachen zu reduzieren oder durch Prozessänderungen die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung von Fehlern zu erhöhen.

Eine Optimierungsreihenfolge lässt sich anhand der ermittelten Risikoprioritätskennzahlen ableiten. Nicht akzeptable Risiken können nach dem Realisieren von Maßnahmen neu bewertet werden. Für die Umsetzung von Maßnahmen empfiehlt es sich, Termine und Verantwortlichkeiten festzulegen. Es werden vorrangig die Merkmale mit den höchsten Risikoprioritätskennzahlen betrachtet. Die Tabelle 5-4 gibt eine zusammenfassende Übersicht der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse über die Prozessschritte mit den höchsten Risikoprioritätskennzahlen von 500. Es werden in dieser Darstellung den betreffenden Prozessmerkmalen Fehlerarten zugeordnet und Maßnahmen vorgeschlagen, die zu einem verbesserten Zustand der Prozesse führen können. Die Fehlerarten werden aus den potentiellen Fehlern und Fehlerursachen definiert.

In den Prozesselementen „Probenahme“ und „Prüfbericht“ treten hohe Risiken auf, die eine prozesssichere Gestaltung der Qualitätskontrolle nicht gewährleisten können.

Ein wesentliches Risiko stellen grobe Fehler dar. Werden Kontrollprüfungen an wiedererwärmtem Mischgut aus Bohrkernen durchgeführt, sind die Prüfergebnisse aufgrund fehlender empirischer Erfahrungen nicht für alle Asphaltkenngrößen zu beurteilen. Gleiches ist daher auch auf Schiedsuntersuchungen zu übertragen, die nicht an Rückstellproben aus Asphaltmischgut, sondern an Bohrkernproben durchgeführt werden. Einflüsse aus dem Einbau und des Probenahmeverfahrens werden in der Beurteilung der Prüfergebnisse nicht hinreichend berücksichtigt.

Ein weiterer Fehler bei Schiedsuntersuchungen ist zu beobachten, wenn Schiedsuntersuchungen an Rückstellproben durchgeführt werden, die Probenahmefehler enthalten. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Probenahmefehlern ist insgesamt als sehr hoch einzustufen, was in der Entmischungsneigung bestimmter Asphaltmischgutsorten oder auch in der fehlerhaften Anwendung der Probenahme unter Nichtberücksichtigung einer

sachgemäßen Probeteilung zu begründen ist. Schiedsuntersuchungen sind definitionsgemäß dann zu beantragen, wenn begründete Zweifel an der sachgerechten Durchführung einer Kontrollprüfung vorliegen. Dies ist dann gegeben, wenn die Prüfergebnisse zweier zugehöriger Teilproben aufgrund auftretender zufallsbedingter Streuungen im Sinne der Vergleichbarkeit unverträglich sind. Die Vergleichbarkeit umfasst hierbei die Streuungen aus der Probenaufteilung bei der Probenahme, im Laboratorium und aus der Prüfung. Die Probenahme ist selbst nicht Teil der Vergleichbarkeit. Ein grober Fehler liegt in der Praxis somit auch dann vor, wenn zur Gewinnung von Teilproben einzelne Proben entnommen werden, ohne dass eine separate Probenteilung einer entnommenen Probe erfolgt.

Die Tätigkeiten der „Probenahme“ haben nachweislich eine große Wirkung auf die wahrgenommene Qualität in der Qualitätskontrolle (s.a. Kapitel 5.2.3) und müssen prozesssicher gestaltet werden. Nicht sachgemäße Probenahmen führen zu erhöhtem Prüfaufwand, da in der Praxis fälschlicherweise bei unentdeckten Probenahmefehlern Schiedsuntersuchungen und bei bekannten Probenahmefehlern Zusätzliche Kontrollprüfungen veranlasst werden. Die Risiken von Qualitätsdefiziten werden jedoch durch diese zusätzlichen Untersuchungen nicht verringert, da aus bestehenden Fehlerursachen innerhalb der Kontrollprüfung weitere Fehler in den Prozessen „Zusätzliche Kontrollprüfung“ und „Schiedsuntersuchung“ generiert werden können.

Nicht sicher gestellt ist die zweifelsfreie Zugehörigkeit der Proben. Werden Mischgutproben entnommen, sind zugehörig auch die Bohrkernproben zur Ermittlung der Verdichtungsgrade der fertigen Leistung an gleicher Station zu nehmen. Nicht dokumentierte Einbaurandbedingungen, nicht umsetzbare Probenahmepläne und das Prüfen der fertigen Leistung bereits überbauter Schichten führen zu erheblichen Qualitätsdefiziten in den Prozessen „Kontrollprüfung“, „Zusätzliche Kontrollprüfung“ und „Schiedsuntersuchung“.

| Prozess | | Prozess- element | Prozess- merkmal | Fehlerart | Vorgeschlagene Maßnahmen |
|----------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|
| KP | SU | | | | |
| X | X | Probenahme | Plan zur Probenahme | AN/L entnehmen Probe ohne Aufsicht des AG | Prüfplanung verbessern, Entnahme der Proben durch unabhängige Stelle |
| X | X | Probenahme | Plan zur Probenahme | Stationen der Mischgut- und Bohrkernproben stimmen aufgrund Einbaurandbedingungen nicht überein | Durchführung von Kontrollprüfungen an wiedererwärmten Bohrkernen, keine Asphaltmischgutproben |
| X | | Probenahme | Probenahme Asphaltmischgut | Probenahme von entmischem Asphaltmischgut durch ungeschulten Probenehmer | Interne Weiterbildung, Probenahmeverfahren verbessern |
| X | | Probenahme | Probenahme Asphaltmischgut | Entmischung der Asphaltprobe bei der Probenahme durch ungeschulten Probenehmer | Interne Weiterbildung, Probenahmeverfahren verbessern |
| X | X | Probenahme | Probenahme Bohrkern | Entnahme inhomogener Proben bei Entnahme überbauter Schichten | Verdichtungskontrollen beim Einbau, Vermerk in Niederschrift Probenahme, Baubegleitende Probenahmen, Entnahme von Durchschnittsproben |
| X | X | Probenahme | Probenahme Bohrkern | Kenndaten an Asphaltmischgut werden an Bohrkernproben ermittelt | Anwendung zulässiger Toleranzen, die den Einfluss des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis berücksichtigen |
| | X | Probenahme | Probe Asphaltmischgut | Untersuchung erfolgt an nicht sachgemäß entnommener Rückstellprobe | Durchführung von Kontrollprüfungen an wiedererwärmten Bohrkernen, keine Asphaltmischgutproben |
| | X | Prüfbericht | Beurteilung | Kornverfeinerung durch Probenahmeverfahren erschwert die Beurteilung der Korngrößenverteilung | Anwendung zulässiger Toleranzen, die den Einfluss des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis berücksichtigen |
| | X | Prüfbericht | Beurteilung | Kornverfeinerung bei Verwendung von Ergänzungskörnungen führt zur falschen Beurteilung der Korngrößenverteilung | Anwendung zulässiger Toleranzen, die den Einfluss des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis berücksichtigen |

Tabelle 5-4: Prozessschritte mit den höchsten Risikoprioritätskennzahlen

Ein Optimierungsbedarf des bestehenden Systems der Qualitätskontrolle lässt sich zusammenfassend mit der Pareto-Analyse ableiten. Die Auswertung der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse der **Anlage 3** zeigt in den Pareto-Diagrammen der Abbildung 5.10 und Abbildung 5.11 die gemittelten Risikoprioritätskennzahlen aller Prozessmerkmale, sortiert nach Größe. Die Pareto-Analyse trennt zwischen wesentlichen und unwesentlichen Prozessmerkmalen.

Es ist ersichtlich, dass im Prozess der Kontrollprüfung nach Abbildung 5.10 die Prozessmerkmale „Plan zur Probenahme“, „Probenahme Asphaltmischgut“ und „Probenahme Bohrkern“ mengenmäßig zu insgesamt 67,4 % zum Gesamtrisiko beitragen und vorrangig optimiert werden sollten.

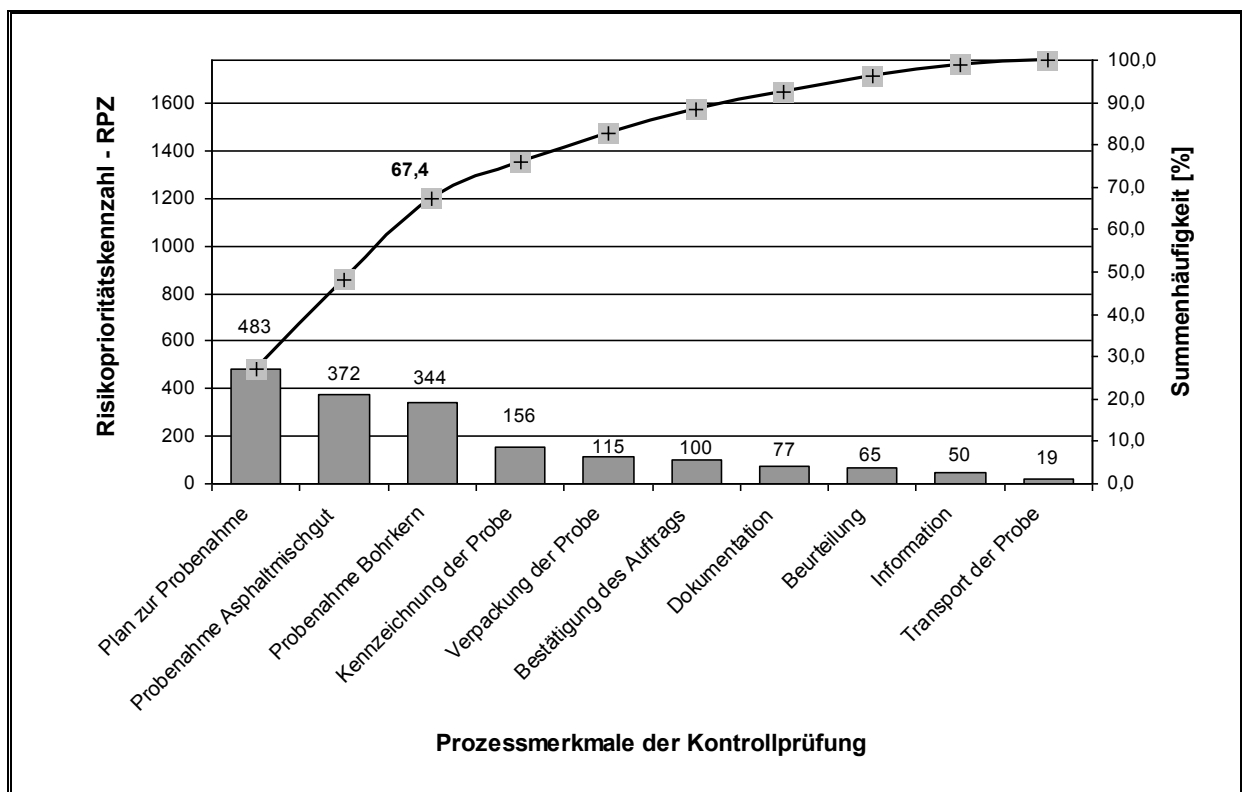


Abbildung 5.10: Gewichtete Risikoprioritätskennzahlen aller Prozessmerkmale der Kontrollprüfung im Pareto-Diagramm mit Summenkurve

Im Prozess der Schiedsuntersuchung nach Abbildung 5.11 fallen auf die Prozessmerkmale „Plan zur Probenahme“, „Probenahme Bohrkern“ und „Beurteilung“ mengenmäßig insgesamt 72,1 % des Gesamtrisikos und sollten daher

vorrangig optimiert werden.

Ein Vergleich der Pareto-Analyse mit der Tabelle 5-4 zeigt, dass die Prozessschritte mit den höchsten Einzelbewertungskennzahlen Teil der drei wesentlichen Merkmale betrachteter Prozesse sind und maßgeblich das Systemrisiko bestimmen.

Eine Verbesserung des Zustandes der Tätigkeiten der zu optimierenden Prozessmerkmale verringert erheblich das Fehlerrisiko. Eine wesentliche Maßnahme, die das Auftreten von Fehlern reduzieren kann, ist die grundsätzliche Durchführung von Kontrollprüfungen an wiedererwärmten Bohrkernen. Mit dieser Methodik soll eine prozesssichere Vorgehensweise zur Qualitätsbeurteilung der fertigen Leistung erfolgen und aufgezeigte Qualitätsdefizite zwischen der Prüfstelle und dem Kunden verringert werden. Die Umsetzung dieser Methode zur Durchführung der Qualitätskontrolle und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten müssen einer tiefgründigeren Analyse unterzogen werden.

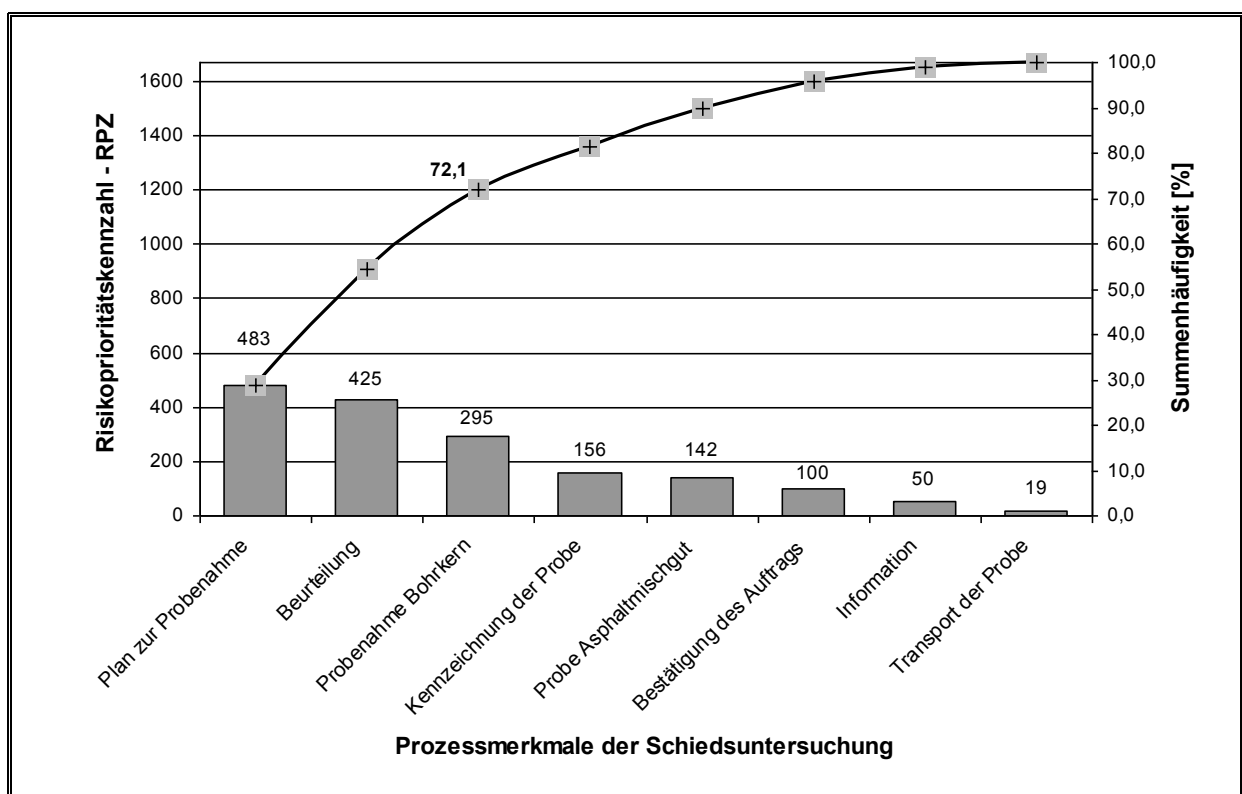


Abbildung 5.11: Gewichtete Risikoprioritätskennzahlen aller Prozessmerkmale der Schiedsuntersuchung im Pareto-Diagramm mit Summenkurve

6 Konzeptionelle Möglichkeiten zur Optimierung der Qualitätskontrolle

6.1 Allgemeines

Eine Optimierung des Teilprozesses der Probenahme bietet die Möglichkeit die Prozessfähigkeit der Qualitätskontrolle zu erhöhen. Die Anwendung eines veränderten Probenahmekonzepts kann helfen, die aufgezeigten Qualitätsdefizite in den Prüfprozessen zu minimieren. Prüfergebnisse, die unter Anwendung verschiedener Probenahmeverfahren ermittelt worden sind, müssen jedoch vergleichbar sein, um die fertige Leistung mit bestehenden Anforderungen beurteilen zu können.

Eine detaillierte und systematische Erfassung von Abweichungen zwischen Prüfergebnissen aus Proben verschiedener Probenahmeverfahren erfolgte in dem eigens durchgeführten Forschungsprojekt „Kontrollprüfungen mit Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen“. In die vorliegende Arbeit fließen Erkenntnisse und Erfahrungen ein, die bei eigener Bearbeitung des Forschungsprojektes gewonnen werden konnten.

Aus den Forschungsergebnissen lassen sich Möglichkeiten zur Optimierung der Qualitätskontrolle ableiten. Hierzu werden die vorliegenden Ergebnisse statistisch ausgewertet und soweit erforderlich, durch zusätzliche Untersuchungen an Probematerial aus den Untersuchungsstrecken des Forschungsprojektes ergänzt.

In die Auswertung werden Untersuchungsergebnisse nach dem Versuchsprogramm der Abbildung 6.1 übernommen. Es werden aus drei Untersuchungsstrecken insgesamt 5 verschiedene Mischgutvarianten betrachtet, die eine große Bandbreite üblicher Asphalte abdecken und in der Praxis in Bauklassen mit besonderen Beanspruchungen angewendet werden. Das Versuchsprogramm wurde im Forschungsprojekt so festgelegt, dass Prüfergebnisse an untersuchten Messproben der durchgeführten Probenahmeverfahren „Manuelle Probenahme an der Verteilerschnecke (VER)“ und „Manuelle Probenahme aus dem Verteilerkübel (DIN)“ sowie der Probenahmeverfahren „Bohrkernentnahme bestehend aus zwei Einzelproben (BKE)“ und „Bohrkernentnahme einer Durchschnittsprobe (BKD)“ hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit bewertet werden können. An den Messproben werden jeweils acht Asphaltkenndaten als Prüfmerkmale betrachtet.

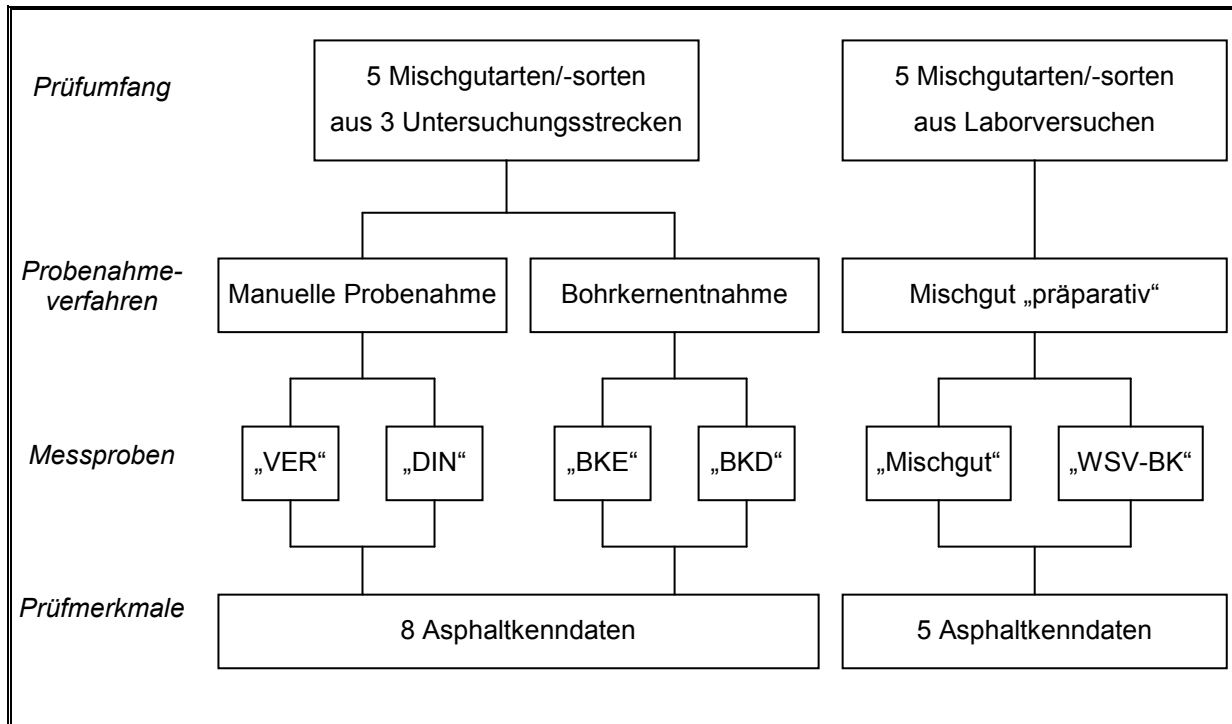


Abbildung 6.1: Auszug des Versuchsprogramms nach durchgeführtem Forschungsprojekt

Weitere Erkenntnisse zur Vergleichbarkeit der Probenahmeverfahren ergeben sich aus dem Forschungsprojekt durch zusätzliche Untersuchungen an Asphaltmischgut präparativ zusammengesetzter Messproben. Mit der Verwendung präparativ zusammengesetzter Mischgutproben können Einflüsse der Bohrkernentnahme auf das Prüfergebnis quantifiziert werden. Hierzu wurden im Laboratorium walzsektorverdichtete Asphaltprobeplatten nach vorliegenden Eignungsprüfungen ausgewählter Asphalte der Untersuchungsstrecken hergestellt.

Mit den Prüfergebnissen an den Messproben „Mischgut“ des im Laboratorium hergestellten Mischguts ist ein möglicher Einfluss der Asphaltextraktion auf das Prüfergebnis feststellbar. Die Eingangsdaten der Eignungsprüfung wurden an fünf relevanten Prüfmerkmalen überprüft. Die Prüfergebnisse der Messproben „WSV-BK“ durch Entnahme von Bohrkernen aus den walzsektorverdichteten Asphaltprobeplatten geben Aufschluss über den Einfluss der Verdichtung und Bohrkernprobenahme auf das Prüfergebnis. Dieser Vorgehensweise liegt die Annahme zugrunde, dass die Walzverdichtung im Walzsektorverdichter die Walzverdichtung der Praxis simuliert, ohne dass nennenswerte neue Einflüsse Auswirkungen auf das Prüfergebnis haben.

Die Untersuchungen zur vergleichenden Betrachtung von Probenahmeverfahren, die in diesem Kapitel beschrieben werden, erfolgten noch vor Einführung der Europäischen Asphaltnormen der DIN EN 13108 [2006]. Daher folgt die Nomenklatur mit allen Abkürzungen und Symbolen in dieser Arbeit den bis dahin gültigen Bezeichnungen nach ZTV Asphalt [FGSV, 2001].

6.2 Probenahmeverfahren

6.2.1 Verfahren zur Probenahme von Asphaltmischgut

Die Grundsätze der Probenahme sowie verschiedene Verfahren zur Durchführung der Probenahme von Asphalt sind basierend auf der DIN EN 12697-27 [2000] in der TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009] beschrieben. Als Ort für die Probenahme hat sich in der Praxis der Bereich der Verteilerschnecke des Straßenfertigers etabliert und entspricht damit der TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009]. Diese Prüfvorschrift ersetzt die bis dahin gültige DIN 1996 Blatt 2 [Beuth, 1994] und beschreibt weitere Probenahmeverfahren wie die „Probenahme aus der Ladung eines LKW“ und die „Probenahme aus einem Haufwerk“.

In der Vergangenheit gab es viele Bestrebungen ein einfaches und praxisgerechtes Probenahmeverfahren zu entwickeln, das auch Entmischungen besonders bei der Entnahme von grobkörnigen Mischgutsorten minimieren kann. Im Einzelnen sind hier die Probenahme nach LÖFFLER [1984], die automatische Probenahme im Querschnitt des Mischgutstromes nach ARAND [1992] und die mechanische Probenahme am Deckenfertiger nach JUNGHÄNEL [1988] zu nennen. Es hat sich jedoch keines der aufgeführten Probenahmeverfahren in der Praxis durchgesetzt. Die verschiedenen Probenahmeverfahren wurden durch KREBS [2002] zusammenfassend vorgestellt und bewertet und sind in der Abbildung 6.2 dargestellt.

Alle Verfahren verfolgen das Ziel, mit einer sachgemäßen Probenahme die Voraussetzung für eine einwandfreie Qualitätsbeurteilung zu schaffen. Ein automatischer Verfahrensablauf und die Minimierung von Entmischungen grobkörniger Mischgutsorten sollen hierbei die Prozesssicherheit der Probenahme gewährleisten.

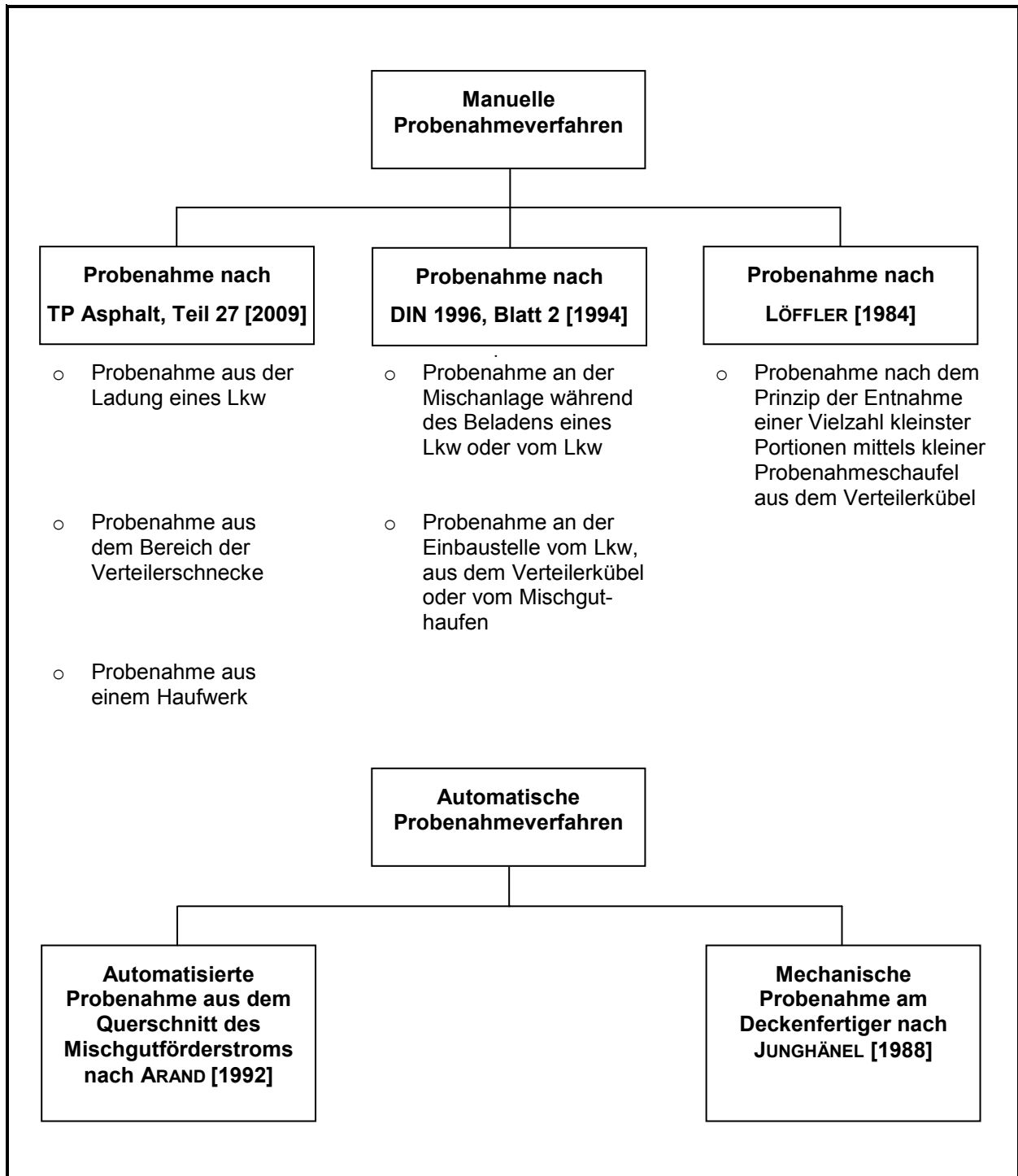


Abbildung 6.2: Probenahmeverfahren von Asphaltmischgut aus Walzasphalt in Anlehnung an KREBS [2002]

Manuelle Probenahmeverfahren

Das manuelle Probenahmeverfahren ist in der TP Asphalt, Teil 27 [2009] beschrieben und stellt Anforderungen an Probenahmeort, Entnahmestelle und

Probemenge. Die sachgerechte Probeteilung zur Gewinnung von Teilproben für alle Prozessbeteiligten wird in der TP Asphalt, Teil 27 nicht explizit erläutert, wie dies in der DIN 1996 [Beuth, 1994] (s.a. Kapitel 5.3.2, Abbildung 5.7) erfolgte. In der Praxis ist zur Gewinnung von Teilproben häufig zu beobachten, dass aus dem seitlichen Bereich der Verteilerschnecke eine Teilprobe durch das Befüllen eines Mischguteimers gewonnen wird, ohne dass es zur Anwendung der manuellen Probenahme mittels Probenahmeblech kommt. Die Vergleichbarkeit aller Teilproben aus dem Bereich der Verteilerschnecke kann somit grundsätzlich nicht vorausgesetzt werden.

Der „Kommentar zur ZTV Asphalt-StB 01“ [2003] weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass bei sorgfältiger Anwendung der Probenahme aus dem laufenden Materialstrom an der Einbaubohle und ausreichender Erfahrung des Probenehmers vergleichbare Ergebnisse zur Probenahme gemäß DIN 1996, Blatt 2 zu erwarten sind.

In dem Forschungsbericht zur „Überprüfung der Toleranzen für Bindemittelgehalt und Korngrößenverteilung gemäß ZTV Asphalt-StB und ZTVT-StB“ bestätigen RENKEN und DRÖGE [2002], dass mit Ausnahme des Asphaltbindermischguts die Probenahme von Mischgut aus dem Bereich der Fertigerbohle keine Nachteile gegenüber der Probenahme gemäß DIN 1996, Blatt 2 bei der Beurteilung der Mischgutzusammensetzung zur Folge haben. Die Autoren schlagen vor, die Probenahme aus dem Bereich der Einbaubohle als insgesamt gleichwertig zuzulassen.

Die manuelle Probenahme nach LÖFFLER [1984] sieht die Entnahme einer Vielzahl kleinster Portionen mittels einer kleinen Probenahmeschaufel mit einer Aufnahmemenge (gehäuft) von ungefähr 500 g vor. Um eine Teilprobe zu erhalten, sind 30 bis 35 Einzelproben erforderlich, die gleichmäßig über das Haufwerk aus dem Mischgutkübel des Straßenfertigers oder vom LKW verteilt sein sollen. Mit einer Probenahme nach dem Prinzip der kleinsten Portionen können die probenahmenbedingten Streuungen von Prüfergebnissen minimiert werden. Die Entnahme aus dem Mischgutkübel des Straßenfertigers setzt voraus, dass dieser anhält, damit der Probenehmer an die Trichterklappe des Straßenfertigers herantreten kann und die erforderliche Probemenge entnehmen kann. Eine Behinderung des Bauablaufs und auch die direkte Einflussnahme des Probenehmers auf die zu entnehmende Probe können nicht verhindert werden. Das Probenahmeverfahren selbst kann nur einen oberflächennahen Bereich des Haufwerks erfassen. [KREBS, 2002]

Automatische Probenahmeverfahren

Das automatisierte Probenahmeverfahren nach ARAND [1992] verfolgt das Ziel die umständliche Handhabung der bestehenden Probenahme nach DIN 1996 [BEUTH, 1994], die im Bauablauf Behinderungen verursacht, mit einem automatisierten Probenahmegerät zu ersetzen. Das Gerät besteht aus einem Hohlzylinder mit einer mittels Kette angetriebenen Schnecke und wird in der Trichterklappe des Fertigers positioniert. Bei einer Probenahme aus dem Mischgutförderstrom entnimmt die in den Förderschacht vorgeschobene Schnecke die Teilprobe und fördert diese nach außen zu einem am Ende des Probenehmers hängendem Eimer. Das Verfahren wurde auf verschiedenen Baustellen, auf denen unterschiedliche Mischgutsorten zum Einsatz kamen, erprobt und zur Anwendung empfohlen. Ringanalysen der Mischgutproben belegen, dass bei dieser automatisierten Probenahme die verfahrensbedingten Streuungen in der Regel kleiner als bei anderen Methoden ausfallen. Der Zeitaufwand zur Gewinnung der vier Teilproben, die jeweils aus fünfzig Einzelproben bestehen, beträgt in etwa zwei Minuten. [ARAND, 1992]

Bei Anwendung der automatischen Probenahme wird kein geschultes Fachpersonal benötigt. Die automatisierte Probenahme erfolgt im laufenden Einbaubetrieb und kann das Mischgut aus dem Mischgutförderstrom erfassen. Hingegen sind Störungen bei größerem Mischgutdurchsatz möglich und auch Verstopfungen nicht auszuschließen. [KREBS, 2002]

Das mechanische Probenahmeverfahren nach JUNGHÄNEL [1988] verbindet die folgenden Arbeitsgänge mechanisch:

- Einzelprobe aufnehmen, fördern und sammeln,
- Sammelprobe mischen, vierteilen und ausscheiden,
- Probe abmessen, in gleichgroße Teilproben zerlegen,
- vier Teilproben in Probebehälter füllen.

Die mechanische Probereinrichtung besteht aus einem Tragrahmen mit höhenverstellbarem Abstreiflineal, der alle festen und beweglichen Teile aufnimmt und gegen die Stirnwand des Straßenfertigers abgestützt ist. Ein zylindrisches Messgefäß mit speziellen Öffnungen und Einbauten versehen, dient als Mischergehäuse. Die von einer Traverse gehaltenen Schöpfbecher nehmen die Einzelproben auf und entleeren das Asphaltmischgut über Einlassöffnungen in das Messgefäß-Mischergehäuse, das die Prüfgutmenge von insgesamt 160 kg aufnehmen muss. Die Prüfgutmenge kann durch Einstellung eines anderen Füllwinkels in den

Messkammern der größtkornabhängigen Teilprobenmenge angepasst werden. Die Probenbehälter werden mithilfe eines Schnellverschlusses unter den vier Messkammern angebracht und können direkt die durchmischten und abgemessenen Teilproben aufnehmen. [JUNGHÄNEL, 1988]

Das mechanische Probenahmeverfahren benötigt kein geschultes Fachpersonal als Probenehmer, da nicht manuell in den Probenahmeprozess eingegriffen werden muss. Der Bauablauf wird nicht behindert und Manipulationen bei der Probenahme können ausgeschlossen werden. Jedoch gibt es keinen universellen Tragrahmen der Probeeinrichtung, um alle Straßenfertigttypen verschiedener Abmessungen ausrüsten zu können. Eine flächendeckende Verbreitung des Verfahrens war somit nicht gegeben. Das Verfahren selbst ist zudem aufwendig in der Unterhaltung. [KREBS, 2002]

6.2.2 Verfahren zur Entnahme von Bohrkernen

Die TP Asphalt, Teil 27 [2009] beschreibt Verfahren zur Gewinnung von Ausbauproben (Bohrkerne). Die Probemenge und Anzahl der Proben werden festgelegt. Für die Probenahme von Bohrkernen zur Bestimmung der Schichtdicke sieht die Prüfvorschrift je Entnahmestelle einen Bohrkern von mindestens 100 mm Durchmesser vor. Zur Bestimmung der Raumdichte sind je Entnahmestelle zwei Bohrkerne (Einzelproben) von mindestens 150 mm Durchmesser in einem Abstand von 5 bis 10 cm zu entnehmen. Zur Bestimmung des Schichtenverbundes sind je Entnahmestelle zwei Bohrkerne mit einem Durchmesser von (150 ± 2) mm zu entnehmen. Für die Durchführung weiterer Untersuchungen hinsichtlich der Mischgutzusammensetzung unterscheidet die TP Asphalt, Teil 27 [2009] die Einzelprobe von der Durchschnittsprobe. Es sind je Entnahmestelle so viele Bohrkerne (Einzelproben) zu entnehmen, dass ausreichend Material für die durchzuführenden Untersuchungen zur Verfügung steht. Es sind jedoch immer mindestens 2 Bohrkerne zu entnehmen. Falls eine Durchschnittsprobe benötigt wird, sind 5 Bohrkerne aus einem Einbaustreifen im Abstand von etwa 5 m zu entnehmen und zu einer Sammelprobe zu vereinigen.

Die Festlegungen der TP Asphalt, Teil 27 [2009] basieren mit Ausnahme der Bestimmung des Schichtenverbundes auf die vorher gültige DIN 1996, Blatt 2 [Beuth, 1994].

Nach den ZTV Asphalt [FGSV, 2001/2007] darf die Durchschnittsprobe

bei Walzasphalten zur Bestimmung von Mischguteigenschaften ausnahmsweise aus der Verkehrsflächenbefestigung entnommen werden, was folglich zu Untersuchungen an Mischgut wiedererwärmter Bohrkern führt.

Die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Befestigung ländlicher Wege (ZTV LW) [FGSV, 2007] legen ebenfalls Kontrollprüfungen an wiedererwärmten Bohrkernen für Wegbefestigungen mit Asphalt fest. Darüber hinaus bestehen landesweit einzelne Festlegungen, die Kontrollprüfungen an wiedererwärmten Bohrkernen vorsehen.

6.3 Qualitätskontrolle an Asphaltmischgutproben

6.3.1 Allgemeines

Die Grundlagen zur Überprüfung der Gleichwertigkeit der manuellen Probenahmeverfahren nach DIN EN 12697-27 [2000] und DIN 1996, Blatt 2 [Beuth, 1994] wurden in dem durchgeführten Forschungsprojekt gelegt.

Das Probenahmeverfahren nach LÖFFLER [1984] wurde nicht erprobt. Das Forschungsprojekt selbst dient in den folgenden Kapiteln als Fallstudie, um die praktische Anwendung der Probenahmeverfahren unter verschiedenen Randbedingungen beurteilen zu können. Mit Auswertung der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit kann an ausgewählten Mischgutarten aufgezeigt werden, welchen Beitrag die standardisierten manuellen Probenahmeverfahren für die Qualitätskontrolle leisten können und ob die Verfahren miteinander vergleichbar sind.

Die Probenahmeverfahren für angeliefertes Asphaltmischgut zur Gewinnung der Messproben werden mit den folgenden Abkürzungen beschrieben:

- VER: manuelle Probenahme an der Verteilerschnecke nach DIN EN 12697-27 [2000]
- DIN: manuelle Probenahme aus dem Verteilerkübel nach DIN 1996, Blatt 2 [Beuth, 1994]

6.3.2 Anwendung manueller Probenahmen an Untersuchungsstrecken

Die Untersuchungsstrecken mit den ausgewählten Mischgutarten und -sorten nach Tabelle 6-1 deckt eine große Bandbreite möglicher Mischgutvarianten ab. Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen lassen sich somit auf viele in der Praxis dimensionierten Asphaltbefestigungen übertragen. In dieser Arbeit werden ausschließlich die Mischgutvarianten nach Tabelle 6-1, Zeile 2 bewertet.

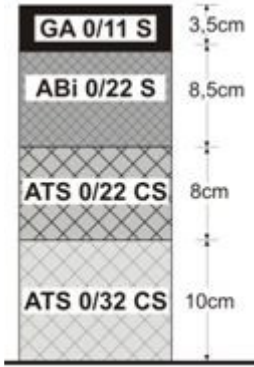
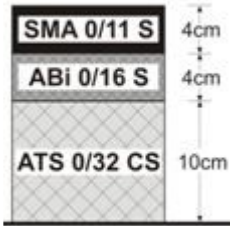
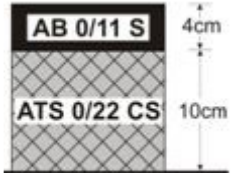
| Bezeichnung der Strecke Zeile 1 | Untersuchungs- strecke A | Untersuchungs- strecke B | Untersuchungs- strecke C |
|--|---|--|---|
| ausgewählte Mischgutart/-sorte Zeile 2 | ABi 0/22 S | SMA 0/11 S ABi 0/16 S (PmB) ATS 0/32 CS | AB 0/11 S |
| Bauklasse Zeile 3 | SV (RstO 01, Tafel 1, Zeile 2.2) | III (RstO 01, Tafel 1, Zeile 2.2) | IV (RstO 01, Tafel 1, Zeile 3) |
| Regelquerschnitt Zeile 4 | RQ 29,5 | RQ 10,5 (verbreitert) | RQ 7,5 |
| Asphaltoberbau der Untersuchungs- strecken Zeile 5 |  |  |  |

Tabelle 6-1: Grunddaten ausgewählter Untersuchungsstrecken des Forschungsprojekts [BALD, BÖHM, WOLF, 2005]

Die Systematik der Probenahme im Forschungsprojekt wurde je Untersuchungsstrecke vor Einbau der Asphaltsschichten festgelegt. Jede Untersuchungsstrecke besteht aus vier Entnahmeprofilen, die jeweils einen Abstand von 250 m aufweisen. Das Asphaltmischgut aller Profile entspricht demnach einer Tagesleistung, die abhängig von der Einbaubreite auf etwa 2.500 m² zu beziffern ist.

Die Probenahmen erfolgten nach einem festgelegten Prüfplan. Die Mischgutproben „VER“ wurden ohne Probeteilung als Laboratoriumsprobe gewonnen. Die Mischgutteilproben „DIN“ wurden mit dem Verfahren der Probeteilung nach der DIN 1996, Blatt 2 gewonnen.

Die Einflüsse aus der Herstellung des Asphaltmischguts in der Mischanlage und aus dem Transport des Mischguts werden nicht näher betrachtet. Diese Einflüsse können als unveränderbare abhängige Variablen für das Kontrollprüfungsergebnis betrachtet werden.

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde baubegleitend die Mischgutanlieferung im Fertigungsschritt „Transport“ (s.a. Kapitel 4.2.4, Tabelle 4-1) hinsichtlich aller Prüfmerkmale untersucht. Das Mischgut konnte bei Anlieferung in allen Fällen augenscheinlich als homogen beurteilt werden. Bei Anwendung der Probenahmeverfahren wurden weitere Anzeichen registriert, die Einfluss auf das Ergebnis der Kontrollprüfungen haben können.

Die Abbildung 6.3 zeigt die durchgeführte Probeteilung von Asphaltmischgut (ABi 0/22 S), entnommen aus dem Verteilerkübel des Straßenfertigers gemäß DIN 1996, Blatt 2 [Beuth, 1994] unter Baustellenbedingungen.

Die Abbildung 6.4 zeigt die Probenahme von Asphaltmischgut (SMA 0/11 S) an der Verteilerschnecke gemäß DIN EN 12697-27 [2000]. Die entnommene Teilprobe an der Verteilerschnecke wurde, wie in der Praxis üblich, durch das direkte Befüllen eines Probeimers gewonnen.



Abbildung 6.3:
Probeteilung von Asphaltmischgut
(ABi 0/22 S) aus dem Verteilerkübel
gemäß DIN 1996, Blatt 2 [Beuth, 1994]



Abbildung 6.4:
Probenahme von Asphaltmischgut
(SMA 0/11 S) gemäß
DIN EN 12697-27 [2000]

6.3.3 Auswerteverfahren der Untersuchungen

Die Ermittlung der Prüfergebnisse an den Asphaltmischgutlaboratoriumsproben „VER“ und „DIN“ erfolgt im durchgeführten Forschungsprojekt in der Art, dass zunächst alle Einzelwerte der Untersuchungen, sofern diese prüftechnisch bedingt keine Ergebnisse sind, gemittelt und als arithmetische Mittel der Einzelwerte für jedes Prüfmerkmal angegeben werden. Die Untersuchungen am Asphaltmischgut wurden gemäß DIN 1996 „Prüfung von Asphalt“ durchgeführt.

Es stehen aus dem Forschungsprojekt die Untersuchungsergebnisse der Mischgutsorten nach Tabelle 6-1, Zeile 2 folgender Prüfmerkmale zur weiteren Auswertung zur Verfügung:

- Füllergehalt ($< 0,09$ mm)
- Sandgehalt (0,09 bis 2,0 mm)
- Splittgehalt ($> 2,0$ mm)
- Grobkornanteil

- Bindemittelgehalt
- Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK)
- Raumdichte und Hohlraumgehalt am Probekörper (MPK)

Die Proben jeder Entnahmestelle können einer Grundgesamtheit auf der Grundlage zugeordnet werden, dass die jeweils beprobte Asphaltmischgutsorte einer Tagesproduktion zugehörig ist. Mit der Festlegung der 4 Profile je Untersuchungsstrecke beträgt der Umfang n der Messreihe für jedes Prüfmerkmal eines Probenahmeverfahrens $n = 4$.

Gemäß Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen [FGSV, 2000] bilden alle wahren Merkmalswerte in einer fest umrissenen Grundgesamtheit die sogenannte Merkmalsverteilung innerhalb der Grundgesamtheit. Die Menge der potentiell möglichen Merkmalswerte werden durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben. Die Kenngrößen der Wahrscheinlichkeitsverteilung (Mittelwert μ und Standardabweichung σ der Verteilung) können hier aufgrund der analogen Definition mit den Kennwerten arithmetisches Mittel \bar{x} und Standardabweichung s zur statistischen Schätzung verwendet werden. Für diese Kennwerte gelten die Gleichungen 3 und 4.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Gleichung 3})$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Gleichung 4})$$

Bei den Probenahmeverfahren „VER“ und „DIN“ liegen je Prüfmerkmal n unter Vergleichbedingungen ermittelte Ergebnisse vor. Streuungsursachen sind hierbei mögliche Einflüsse aus der Probenahme und der Probenteilung zur Gewinnung von Sammelproben und Laboratoriumsproben sowie Prüfstreuungen des Laboratoriums. Die DIN EN 932-6 [1999] bezeichnet die Bedingung, die bei der Gewinnung von Proben einer Probenahme aus verschiedenen Sammelproben vorliegt, als R₂-Vergleichbedingungen.

Es werden aus den Ergebnissen aller untersuchten Asphaltmischgutsorten je

Prüfmerkmal, getrennt nach Probenahmeverfahren, arithmetische Mittel gebildet. Die Ergebnisse werden auf Verträglichkeit geprüft. Dazu wird die kritische Spannweite d_r nach Gleichung 5 berechnet. Der Faktor $W_{95\%}$ ist hier mit einer statistischen Sicherheit von 95% von der Anzahl n der Ergebnisse abhängig.

$$d_r = W_{95\%}(n) \sigma_r \quad (\text{Gleichung 5})$$

Die beobachtete Spannweite errechnet sich nach dem Merkblatt [FGSV, 2000] mit Gleichung 6.

$$w_x = x_{(n)} - x_{(1)} \quad (\text{Gleichung 6})$$

Ist die beobachtete Spannweite nicht größer als die zugehörige kritische Spannweite, gelten die Ergebnisse als sicher. Eine gesonderte Ausreißerprüfung ist in diesem Fall nicht notwendig. Für die Berechnung der Standardabweichungen σ_r werden die bekannten Vergleichsstandardabweichungen der Prüfverfahren nach DIN 1996 [Beuth, 1994] herangezogen.

Liegen dennoch ausreißerverdächtige Prüfwerte vor, ist in Einzelfällen die Ausreißerprüfung nach Merkblatt [FGSV, 1978/2003] durchzuführen. Nach diesem Merkblatt wird für den Fall eines ausreißerverdächtigen Messwertes die Prüfgröße nach Gleichung 7 berechnet. Falls die Prüfgröße den Schwellenwert für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 95% gemäß Merkblatt [FGSV, 1978/2003] überschreitet, liegt ein Ausreißer vor und wird bei der weiterführenden Auswertung nicht betrachtet.

$$T_1 = \left| \frac{x_1 - \bar{x}}{s} \right|$$

mit :

x_1 = statistischer Ausreißer

\bar{x} = Mittelwert der Stichprobe

s = Standardabweichung

(Gleichung 7)

Eine vergleichende Bewertung der Probenahmeverfahren erfolgt, wenn aus den verträglichen Messwerten aller Prüfmerkmale arithmetische Mittel gebildet werden können. Es liegen für jedes Prüfmerkmal im Vergleich zweier Probenahmeverfahren zwei unabhängige kleine Stichproben vor. Mit dem t-Test nach Student [ZÖFEL, 2002] lassen sich die Mittelwerte der normalverteilten Messwerte auf Signifikanz überprüfen. In der Testsituation wird zunächst die Nullhypothese nach Gleichung 8 aufgestellt.

$$H_0 = \frac{\sigma^2_1}{\sigma^2_2} = 1 \quad (\text{Gleichung 8})$$

In einem ersten Rechenschritt wird mit der Prüfgröße des F-Tests nach Gleichung 9 entschieden, ob sich im Falle der Varianzenheterogenität die Varianzen beider Stichproben signifikant unterscheiden oder im Falle der Varianzenhomogenität sich nicht signifikant unterscheiden. Im Falle der Varianzenhomogenität ist die Prüfvariable kleiner als der tabellierte Wert nach ZÖFEL [2002], was bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ zur Annahme der Nullhypothese führt.

$$F = \frac{S^2_{major}}{S^2_{minor}} \quad (\text{Gleichung 9})$$

mit :

$$df_1 = n_{major} - 1$$

$$df_2 = n_{minor} - 1$$

Die Prüfgröße des t-Test nach Student ermittelt sich im Falle der Varianzenhomogenität nach Gleichung 10 und im Falle der Varianzenheterogenität nach Gleichung 11. Die errechnete Prüfgröße t wird bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ mit dem tabellarischen Rückweisungspunkt nach ZÖFEL [2002] in Abhängigkeit des Freiheitsgrads verglichen. Liegt die Prüfgröße links vom Rückweisungspunkt treten Mittelwertunterschiede zufällig auf.

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) \times s_1^2 + (n_2 - 1) \times s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \times \sqrt{\frac{n_1 \times n_2}{n_1 + n_2}} \quad (\text{Gleichung 10})$$

mit :

$$df = n_1 + n_2 - 2$$

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (\text{Gleichung 11})$$

mit :

$$df = \frac{(c_1^2 + c_2^2)^2}{\frac{c_1^2}{n_1 - 1} + \frac{c_2^2}{n_2 - 1}} \quad \text{und} \quad c = \frac{s^2}{n}$$

Die Probenahmeverfahren können als vergleichbar angesehen werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Mittelwerte der zu vergleichenden Stichproben untersuchter Prüfmerkmale sich nicht signifikant unterscheiden.

6.3.4 Bewertung manueller Probenahmeverfahren

Die Auswertungen der Untersuchungsergebnisse mit den Gleichungen 3 bis 7 nach Kapitel 6.3.3 werden in der **Anlage 4** dargestellt. Die Auswertungen beinhalten, getrennt nach der Mischgutart/-sorte und den Probenahmeverfahren „DIN“ und „VER“, die Anzahl der verträglichen Messwerte, die Mittelwerte, die Sollwerte und die Streumaße Standardabweichung und Spannweite der Messreihen. Die Verträglichkeit der Messwerte wird in allen Fällen nachgewiesen. In Einzelfällen bestehen Ausreißer in den Messreihen, die nicht in die Auswertung der Prüfergebnisse eingeflossen sind.

Es liegen je Untersuchungsstrecke vier Entnahmeprofile vor, doch können nicht für jedes Prüfmerkmal Mittelwerte aus vier Einzelergebnissen ermittelt werden. Durch die baustellenbegleitenden Kontrollen und Aufzeichnungen konnten echte Ausreißer erfasst werden. Bei diesen Ausreißern handelt es sich um grobe Abweichungen, die nachweislich Messwerte liefern, die nicht der Grundgesamtheit angehören und somit von der Auswertung ausgeschlossen werden müssen. Als vorliegende Abweichungen, die zum Ausschluss führen, sind zu nennen:

- Anlieferung von Mischgut ungleicher Rezeptur,
- Entmischungen an der Verteilerschnecke und im Verteilerkübel

Die Anlieferung von Mischgut ungleicher Rezeptur trat bei Asphalttragschichten auf, wenn zwei verschiedene Lieferanten beteiligt waren. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist nur gegeben, wenn bei allen Probenahmestationen Asphalttragschichtmischgut gleicher Herkunft geliefert wird.

Bei den Probenahmen konnte beobachtet werden, dass Entmischungen des Asphaltbindermischguts an der Verteilerschnecke und im Verteilerkübel auftraten. Dies kann dazu führen, dass bei Anwendung der durchgeführten manuellen Probenahmeverfahren eine sachgemäße Probenahme behindert wird. Eine Verlegung der Entnahmestation war jedoch ausgeschlossen, um die Bedingung der örtlichen Übereinstimmung der Mischgutproben mit den Bohrkernproben einzuhalten.

Beim Einbau verschiedener Mischgutsorten der Untersuchungsstrecken war zu beobachten, dass nicht montierte Anbauteile und fehlende Schneckenverlängerungen bei größeren Einbaubreiten zu Entmischungen in den Seitenbereichen des Schneckenraums führen können. Daher muss bei der Probenahme an der Verteilerschnecke der Schneckenkasten vollständig mit Asphaltmischgut gefüllt sein, um Entmischungen bei der Probenahme zu vermeiden.

Die Durchführung der DIN-konformen Probenahme nach DIN 1996 Blatt 2 [Beuth, 1994] erwies sich durch die Fahrbahngeometrie und die Baustellenabsicherung der Untersuchungsstrecken als umständlich und schwierig, da weite Wege zwischen der Einbaustelle und der Probeteilung zurück gelegt werden mussten. Nach halber Entleerung sollte der LKW für eine homogene Mischgutentnahme aus dem Verteilerkübel zurücksetzen, was den Baubetrieb behindern kann. Eine Entnahme von Mischgut aus dem Verteilerkübel nach Entleeren des LKW führt

insbesondere bei den Asphaltbindervarianten zwangsweise zu Entmischungen der zu entnehmenden Probe. Bei den Deckschichten ist jedoch ein Zurücksetzen des LKW nicht möglich, um Unebenheiten in der Deckschicht, die sich durch erneutes Anstoßen des Fahrzeugs an den Straßenfertiger ergeben können, zu vermeiden.

Der Mittelwertvergleich der Prüfmerkmale manueller Probenahmeverfahren, durchgeführt mit den Gleichungen 8 bis 11 nach Kapitel 6.3.3, ist der **Anlage 5.1** zu entnehmen. Bis auf das Prüfmerkmal „Grobkornanteil“ unterscheiden sich die Mittelwerte aller untersuchten Prüfmerkmale nicht signifikant. Dieser Sachverhalt deutet darauf hin, dass das Ergebnis der Prüfung nicht von der Art des Probenahmeverfahrens abhängt. Die Ausnahme bildet das Prüfmerkmal „Grobkornanteil“ bei den Asphaltbindervarianten ABi 0/16 und ABi 0/22 und bestätigt die Erfahrung, dass Asphaltbindersorten aufgrund ihres hohen Grobkornanteils besonders sensibel auf Entmischungen bei der Probenahme reagieren.

Die Auswertung der Ergebnisse bestätigt eine Gleichwertigkeit der manuellen Probenahmeverfahren. Es kann jedoch anhand der Prüfergebnisse kein Hinweis darauf gegeben werden, dass das manuelle Probenahmeverfahren „DIN“ mit lokaler Probeteilung prozesssicherer durchzuführen ist, als die Probenahme an der Verteilerschnecke. Beide Probenahmeverfahren unterliegen jeweils verschiedenen Einflüssen des Bauablaufs, die sich in Streuungen der Prüfergebnisse, insbesondere in den Kennwerten der Korngrößenverteilung, widerspiegeln. Nicht auszuschließen sind bei den angewendeten Probenahmeverfahren subjektive Einflüsse auf das Ergebnis der Probenahme. Die Einflüsse können sich überlagern und so zu einer Gesamtstreuung der Prüfergebnisse führen, die bei beiden Probenahmeverfahren in gleicher Größenordnung auftreten können.

Bei den Probenahmen ist geschultes Personal erforderlich und die Erfordernis, den Bauablauf durch das manuelle Probenahmeverfahren nicht zu behindern, was in eigenen Untersuchungen durch die praktische Anwendbar- und Durchführbarkeit des Probenahmeverfahrens „VER“ effektiver als bei dem Probenahmeverfahren „DIN“ gestaltet werden konnte.

6.4 Qualitätskontrolle an Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne

6.4.1 Allgemeines

Für die Bohrkernverfahren nach TP Asphalt, Teil 27 [2009] liegen die Untersuchungsergebnisse aus dem eigens durchgeführten Forschungsprojekt vor, um die Vergleichbarkeit dieser Verfahren nachweisen und deren Anwendbarkeit beurteilen zu können. Zur Bestimmung der Kenndaten des Asphaltmischguts wurden je Entnahmestelle die praxisübliche Einzelprobe (BKE), bestehend aus zwei einzelnen Bohrkernen sowie einer Durchschnittsprobe (BKD), bestehend aus fünf Bohrkernen aus einem Einbaustreifen im Abstand von etwa 5 m, entnommen. Die Entnahmestellen der Durchschnittsprobe wurden ergänzend zu den Festlegungen nach DIN 1996 Blatt 2 [Beuth, 1994] bzw. TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009] diagonal über den Einbaustreifen angeordnet.

Die Verfahren zur Entnahme von Bohrkernen zur Gewinnung der Messproben werden mit den folgenden Abkürzungen beschrieben:

- BKE: Probenahme von zwei Einzelbohrkernen nach TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009]
- BKD: Probenahme von fünf Bohrkernen als Durchschnittsprobe nach TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009]

6.4.2 Anwendung der Bohrkernentnahmen an Untersuchungsstrecken

Die Angaben der Untersuchungsstrecken und den Entnahmeprofilen gelten bei den Verfahren der Bohrkernentnahmen analog der manuellen Probenahmeverfahren nach Kapitel 6.3.2. Es werden die ausgewählten Mischgutvarianten nach Tabelle 6-1, Zeile 2 betrachtet.

Im Forschungsprojekt erfolgten die Probenahmen baubegleitend nach Prüfplan mit einem für diese Verwendung vorgesehenen Straßenkernbohrgerät nach Fertigstellung der obersten Asphaltsschicht. Die Bohrkern wurden unmittelbar nach der Entnahme gekennzeichnet und im Laboratorium, der jeweiligen Entnahmestation zugeordnet, zu Sammelproben vereinigt.

Die Abbildung 6.5 zeigt die Anordnung der Entnahmeprofile innerhalb des

6.4.3 Auswerteverfahren der Untersuchungen

Die Auswertung der Prüfergebnisse der Messproben aus wiedererwärmten Bohrkernen „BKE“ und „BKD“ erfolgt analog der Auswerteverfahren mit den Gleichungen 3 bis 11 nach Kapitel 6.3.3.

Es wurde bei Bearbeitung des Forschungsprojektes durch Voruntersuchungen belegt, dass im Laboratorium die vollkommen entnommene Bohrkernprobe als Messprobe zur Verfügung stehen muss. Daher sind Anteile an Abstreusplitt von Deckschichten sowie die Mantelfläche, gekennzeichnet durch angeschnittene Körner als Folge der Probenahme, zur Bestimmung aller Prüfmerkmale in der Messprobe zu belassen.

6.4.4 Bewertung von Bohrkernentnahmen für Untersuchungen an Asphaltmischgut

Die Auswertungen der Untersuchungsergebnisse mit den Gleichungen 3 bis 7 nach Kapitel 6.3.3 werden in der **Anlage 4** dargestellt. Die Auswertungen beinhalten, getrennt nach der Mischgutart/-sorte und den Probenahmeverfahren „BKE“ und „BKD“, die Anzahl der verträglichen Messwerte, die Mittelwerte, die Sollwerte und die Streumaße Standardabweichung und Spannweite der Messreihen. Die Verträglichkeit der Messwerte wird in allen Fällen nachgewiesen. Wie auch bereits für die manuellen Probenahmeverfahren (s.a. Kapitel 6.3.4) beschrieben, bestehen in Einzelfällen Ausreißer in den Messreihen, die nicht in die Auswertung der Prüfergebnisse eingeflossen sind. Bei den Bohrkernverfahren sind folgende grobe Abweichungen zu nennen, die zum Ausschluss von Messwerten führten:

- Inhomogenitäten in der Asphaltschicht an der Entnahmestelle infolge Stillstandszeiten des Straßenfertigers und Entmischungsneigungen des Asphaltmischguts an der Verteilerschnecke,
- Anlieferung von Mischgut ungleicher Rezeptur,
- unzureichende Probemenge im Laboratorium,
- Kornausbrüche der Probe

Ergänzend zu den Erläuterungen grober Abweichungen aus Kapitel 6.3.4 ist bei den Bohrkernverfahren zu nennen, dass bei der Entnahme von Einzelbohrkernen (BKE) nicht in allen Fällen ausreichend Probematerial im Laboratorium zur Verfügung

stand, wenn im Einzelfall Wiederholungsprüfungen aufgrund von nachweislichen Prüffehlern durchgeführt werden mussten. Ferner wurden Proben ausgeschlossen, die nach der Bohrkernentnahme oder infolge des Probenverkehrs Fehlstellen bzw. Kornausbrüche aufwiesen.

Eine nicht kontinuierliche Beschickung des Straßenfertigers mit Asphaltmischgut ist häufige Ursache für Stillstandszeiten eines Straßenfertigers. Dies führt in der Regel zu einem Leerfahren des Verteilerkübels, um ein Auskühlen des restlichen Mischguts zu vermeiden. Hierdurch kann, wie in Abbildung 6.6 dargestellt, entmischtes und nicht homogenisiertes Mischgut aus dem Verteilerkübel eingebaut werden. In den Fällen, dass Inhomogenitäten in der fertigen Schicht aufgrund der beschriebenen Problematik auftraten, war ein Verlegen der Entnahmestelle, um die örtliche Übereinstimmung mit der Entnahmestelle des manuellen Probenahmeverfahrens über alle Schichten hinweg zu wahren, nicht möglich.



Abbildung 6.6: Einbaufehlstelle einer Asphaltbinderschicht

Der Mittelwertvergleich der Prüfmerkmale beider Probenahmeverfahren, durchgeführt mit den Gleichungen 8 bis 11 nach Kapitel 6.3.3, ist der **Anlage 5.2** zu entnehmen. Die Mittelwerte aller untersuchten Prüfmerkmale unterscheiden sich zwischen dem Bohrkernverfahren „BKE“ und „BKD“ nicht signifikant. Das

Ergebnis der Prüfung hängt demnach nicht von der Anzahl der zu entnehmenden Bohrkerne ab.

Die Auswertung der Ergebnisse bestätigt eine Gleichwertigkeit der Probenahmeverfahren. Es ist jedoch zu ergänzen, dass mit einer Entnahme der Durchschnittsprobe (BKD) je Entnahmestelle, eine in der Regel repräsentativere Fläche beprobt wird, als dies bei einer Entnahme von zwei Einzelproben (BKE) der Fall ist. Zufällige Abweichungen von Merkmalswerten aus dem Einbau- und Verdichtungsprozess im Probefeld können durch die diagonale Entnahme von Proben minimiert werden. Die Streuungsparameter der Auswertung bescheinigen der Durchschnittsprobe in den meisten Fällen geringere Streuungen der Messwerte um den Mittelwert der Messreihen. Gegenüber der Einzelbohrkernprobe kann zudem von der Durchschnittsbohrkernprobe eine Rückstellprobe im Laboratorium gebildet werden, so dass ausreichend Probematerial für die durchzuführenden Untersuchungen zur Verfügung steht.

Das Bohrkernverfahren zur Gewinnung einer Durchschnittsprobe (BKD) ist repräsentativer und kann somit die Voraussetzungen für eine einwandfreie Qualitätsbeurteilung besser erfüllen, als das Verfahren zur Gewinnung von Einzelproben (BKE).

6.5 Vergleichbarkeit von Untersuchungen an Asphaltmischgut und Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne

6.5.1 Allgemeines

Eine Gleichwertigkeit der Probenahmeverfahren „Bohrkernverfahren“ und „manuelle Probenahme“ ist dann gegeben, wenn die Prüfergebnisse nicht von der Art des Verfahrens abhängen.

Die Prüfergebnisse unterliegen den Streuungen aus den Probenahmen sowie den Streuungen durch Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von Asphalt. Hierbei bestehen bei den einzelnen Probenahmeverfahren unterschiedliche Einflussfaktoren, die Auswirkungen auf das Prüfergebnis haben. Diese können sich bei den einzelnen Verfahren gegenseitig aufheben oder auch überlagern. In einer Bewertung vorliegender Ergebnisse werden die Probenahmeverfahren vergleichend betrachtet, die bei Durchführung der Qualitätskontrolle die Voraussetzungen für eine

einwandfreie Qualitätsbeurteilung am besten erfüllen können. Nach den Ausführungen der Kapitel 6.3.4 und 6.4.4 sind dies das manuelle Probenahmeverfahren „VER“ und das Bohrkernverfahren „BKD“.

6.5.2 Einflüsse auf das Ergebnis der Qualitätskontrolle

Die Vielzahl an Einflüssen, die Auswirkungen auf das Ergebnis der Qualitätskontrolle haben, konnten innerhalb des Forschungsprojektes nicht einzeln bewertet werden. Es wurden hingegen die wesentlichen Einflussmerkmale nach Tabelle 6-2 erfasst, um die Prüfergebnisse auf Plausibilität überprüfen zu können.

| <i>Einflussgröße</i> | <i>Einflussmerkmale</i> |
|-----------------------------|--|
| Einbau | <ul style="list-style-type: none"> • Technische Ausstattung (Art des Fertiglers/Einbaubohle) • Vorverdichtung (siehe Einflussmerkmale Walzverdichtung) • Einbaugeschwindigkeit |
| Walzverdichtung | <ul style="list-style-type: none"> • Verdichtungsgerät (Art der Walze, Walzengewicht, Anzahl der Übergänge) • Mischgutart und –sorte (Grob- und Größtkornanteil der Mineralstoffe) • Mischguttemperatur • Mineralstoff (Art, Kornform, Festigkeit) • Bitumenviskosität • Schichtdicke der Befestigung • Witterung beim Einbau |
| Probenahme Mischgut | <ul style="list-style-type: none"> • Probenahmeverfahren (Art und Ort der Durchführung) • Mischgutart (Grob- und Größtkornanteil der Mineralstoffe) |
| Probenahme Bohrkern | <ul style="list-style-type: none"> • Probenahmeverfahren (Art, Ort, Größe und Menge der Probe) • Zeitpunkt der Probenahme • Mischgutart und –sorte (Grob- und Größtkornanteil der Mineralstoffe) |

Tabelle 6-2: Einflussmerkmale auf das Ergebnis der Kontrollprüfung [BALD, BÖHM, WOLF, 2005]

Das Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen wird im Vergleich zu dem manuell entnommenen Asphaltmischgut zusätzlich durch den Einbau- und

Verdichtungsprozess beansprucht, was zu veränderten Mischguteigenschaften führen kann. Diese zeigen sich in Kornverfeinerungen der Splittfraktion und in Kornanreicherungen der Sand- und Füllerfraktion. Die Veränderungen der Korngrößenverteilung einer Probe können aus Kornzertrümmerungen infolge der Walzverdichtung oder durch Entmischungen des Asphaltmischguts beim Einbau resultieren. Folgt eine nicht zeitnahe Probenahme kann auch eine Bitumenalterung des Asphaltmischguts auftreten.

Durch die Trenn- und Schnittwirkung der Bohrkrone sind weitere Einflüsse auf die Mischgutzusammensetzung, wie das Auftreten von Kornverfeinerungen in der Splittfraktion infolge Anteile angeschnittener Körner sowie geringere Bindemittelgehalte durch Anteile nicht umhüllter Gesteinskörnungen im Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne, denkbar.

Bei abgestreuten Asphaltdeckschichten kann ferner der eingebundene Abstreusplitt zu einer veränderten Korngrößenverteilung des Mischguts führen.

6.5.3 Quantifizierung maßgeblicher Einflüsse

Für die Bewertung von Prüfergebnissen aus Mischgutproben wiedererwärmter Bohrkerne ist entscheidend, wie sich die Einflussgrößen „Einbau“, „Walzverdichtung“ und „Probenahme“ auf das Prüfergebnis auswirken. Ergänzend zu dem Forschungsauftrag des eigens durchgeführten Forschungsprojektes wurde daher ein zusätzliches Versuchsprogramm für labortechnische Untersuchungen entwickelt, um eine Gesamteinflussgröße aus „Einbau“, „Walzverdichtung“ und „Probenahme Bohrkern“ auf das Prüfergebnis quantifizieren zu können (s.a. Kapitel 6.1, Abbildung 6.1). Hierzu wurden exemplarisch Kenndaten der Korngrößenverteilung mit Füller-, Sand-, und Splittgehalt, Grobkornanteil sowie Bindemittelgehalt unter Wiederholbedingungen an ausgewählten Mischgutvarianten bestimmt. Die Ergebnisse der zusätzlichen Laborversuche mit den statistischen Kennwerten der Messreihen aus dem Forschungsprojekt sind in **Anlage 6** tabellarisch dargestellt.

Die Tabelle 6-3 fasst die Ergebnisse zusammen und gibt Aufschluss über die Einflussgröße „Einbau“, „Walzverdichtung“ und „Probenahme Bohrkern“. Es sind jeweils die Differenzen der Untersuchungsergebnisse zwischen den Messproben „Mischgut“ und „WSV-BK“ dargestellt.

| Mischgutart/- sorte | Prüfmerkmale | | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | Füllergehalt [M.-%] | Sandgehalt [M.-%] | Splittgehalt [M.-%] | Grobkornanteil [M.-%] | Bindemittelgehalt [M.-%] |
| SMA 0/11 S | +0,7 | +2,3 | -3,0 | -8,9 | 0,0 |
| ABi 0/16 S | +0,6 | +2,0 | -2,6 | -2,8 | +0,1 |
| ABi 0/22 S | +0,3 | +2,2 | -2,5 | -8,6 | -0,1 |
| AB 0/11 S | +1,0 | +1,8 | -2,8 | -3,2 | -0,1 |
| ATS 0/32 CS | +0,9 | +1,2 | -2,1 | -6,8 | -0,1 |

Tabelle 6-3: Ermittlung von Differenzen der Forschungsergebnisse untersuchter Prüfmerkmale im Vergleich der Proben „Mischgut“ und „WSV-BK“

Im Einzelnen können folgende Zusammenhänge aus der Tabelle 6-3 entnommen werden:

- Kornanreicherungen im Füllergehalt am Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne „WSV-BK“ aller betrachteten Mischgutsorten von 0,3 M.-% bis 1,0 M.-%,
- Kornanreicherungen im Sandgehalt am Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne „WSV-BK“ aller betrachteten Mischgutsorten von 1,2 M.-% bis 2,3 M.-%,
- Kornverfeinerungen im Splittgehalt am Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne „WSV-BK“ aller betrachteten Mischgutsorten von -2,1 M.-% bis -3,0 M.-%,
- Kornverfeinerungen im Grobkornanteil am Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne „WSV-BK“ aller betrachteten Mischgutsorten von -2,8 M.-% bis -8,9 M.-%

Bei Untersuchungen am Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen treten die Kornverfeinerungen im Grobkornanteil insbesondere bei den Mischgutsorten mit hohem Grobkornanteil auf, sie nehmen jedoch auch tendenziell mit steigendem Größtkorn innerhalb einer Mischgutart zu. Aus den Untersuchungen kann kein Unterschied im Bindemittelgehalt verschiedener Messproben nachgewiesen werden. Es treten nur minimale Differenzen auf, daher kann eine nennenswerte Bindemittelverringern durch die Bohrkernentnahme ausgeschlossen werden.

6.5.4 Bewertung von Ergebnissen an Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne

Die Prüfergebnisse an Messproben der Probenahmeverfahren „Probenahme von fünf Bohrkernen als Durchschnittsprobe (BKD)“ und „manuelle Probenahme an der Verteilerschnecke (VER)“, die aus dem Forschungsprojekt zur Verfügung standen, sind mit den Gleichungen 8 bis 11 nach Kapitel 6.3.3 ausgewertet worden und in **Anlage 5.3** zusammenfassend dargestellt.

Es kann nachgewiesen werden, dass sich die Mittelwerte folgender Prüfmerkmale der Stichproben „BKD“ und „VER“ der untersuchten Mischgutvarianten nicht signifikant unterscheiden und somit eine Vergleichbarkeit der Probenahmeverfahren hinsichtlich dieser Prüfmerkmale gegeben ist:

- Bindemittelgehalt
- Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK)
- Raumdichte und Hohlraumgehalt am Probekörper (MPK)

Eine Erhöhung oder Verringerung des Bindemittelgehalts in der Probe wiedererwärmter Bohrkerne ist nicht signifikant, was durch die Ergebnisse der zusätzlichen Laboruntersuchungen bestätigt werden konnte. Ein möglicher Bindemittelverlust infolge bindemittelfreier Schnitt- und Trennflächen am Bohrkern kann vernachlässigt werden, da davon auszugehen ist, dass das beim Bohren durch Reibung erwärmte Bindemittel in die angrenzenden Hohlräume der Probe gedrückt wird.

Bei zeitnaher Durchführung der Bohrkernprobenahme ist ein Einfluss des Probenahmeverfahrens „BKD“ auf die Höhe der Erweichungspunkte Ring und Kugel (EP RuK) nicht nachweisbar. Eine mögliche Bindemittelverhärtung durch Einbau, Walzverdichtung, Witterung und Prüfung im Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne ist in diesem Fall nicht zu erwarten.

Bei der Bestimmung der Raumdichten und Hohlraumgehalte am Probekörper (MPK) sind keine Einflüsse des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis nachzuweisen. Eine denkbare Ermittlung geringerer Raumdichten mit resultierenden höheren Hohlraumgehalten infolge der veränderten Kantenbeschaffenheit angeschnittener Splittkornanteile in Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne ist nicht signifikant.

Bei den Mischgutvarianten AB 0/11 S, ABi 0/16 S und ATS 0/32 CS sind die Mittelwertunterschiede zwischen den Stichproben „BKD“ und „VER“ folgender Prüfmerkmale nicht signifikant:

- Füllergehalt (< 0,09 mm)
- Sandgehalt (0,09 bis 2,0 mm)
- Splittgehalt (> 2,0 mm)
- Grobkornanteil

Bei den Stichproben „BKD“ und „VER“ der Mischgutvarianten SMA 0/11 S und ABi 0/22 S treten hingegen auch signifikante Mittelwertunterschiede auf.

| Mischgutart/- sorte | Prüfmerkmale | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|
| | Füllergehalt [M.-%] | Sandgehalt [M.-%] | Splittgehalt [M.-%] | Grobkornanteil [M.-%] |
| SMA 0/11 S | ja | ja | ja | ja |
| ABi 0/16 S | nein | nein | nein | nein |
| ABi 0/22 S | ja | nein | nein | ja |
| AB 0/11 S | nein | nein | nein | nein |
| ATS 0/32 CS | nein | nein | nein | nein |

Tabelle 6-4: Bewertung der Unterschiedlichkeit der Probenahmeverfahren „BKD“ und „VER“ hinsichtlich der Prüfmerkmale der Korngrößenverteilung

Die Tabelle 6-4 bewertet die Unterschiedlichkeit der Probenahmeverfahren „BKD“ und „VER“ bezogen auf die Prüfmerkmale der Korngrößenverteilung der untersuchten Mischgutvarianten. Bei der Zuordnung „ja“ kann nachgewiesen werden, dass sich Mittelwerte der betrachteten Prüfmerkmale vergleichender Stichproben signifikant unterscheiden.

Es können aus den Prüfergebnissen zur Bestimmung der Korngrößenverteilung folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Bei Asphaltgemischen mit sehr hohen Anteilen an Grobkorn (SMA 0/11 S) treten im Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne signifikante Kornverfeinerungen im Splittgehalt und Grobkornanteil auf. Folglich treten im Füller- und Sandgehalt von SMA 0/11 S Kornanreicherungen auf. Mit den Forschungsergebnissen kann aufgezeigt werden, dass Splittmastixasphalt aufgrund seines sehr hohen Grobkornanteils insbesondere bei der Walzverdichtung, durch die sich gegenseitig abstützenden Grobsplittkörnern, zu Kornverfeinerungen neigt. Die Schneidwirkung der Bohrkronen hat hingegen bei Splittmastixasphalt einen untergeordneten Einfluss, da zwar Körner angeschnitten werden, diese jedoch aufgrund des relativ geringen Größenabstands der Körnung 8/11 zur nächst kleineren Körnung weitgehend in der Kornklasse verbleiben.
- Bei Asphaltgemischen mit hohen Anteilen an Grobkorn (ABi 0/22 S und ABi 0/16 S) und bei Asphaltgemischen mit mäßigem Grobkornanteil (AB 0/11 S und ATS 0/32 CS) treten im Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne Kornverfeinerungen im Splittgehalt und Grobkornanteil sowie Kornanreicherungen im Füller- und Sandgehalt auf. Aus den vergleichenden Untersuchungen kann im Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne nur bei dem Asphaltgemisch ABi 0/22 S die Signifikanz einer Kornverfeinerung im Grobkornanteil und einer Kornanreicherung im Füllergehalt nachgewiesen werden. Bei Auswertung der Ergebnisse der Asphaltgemische aus den Untersuchungsstrecken zeigt sich, dass Einflüsse aus Einbau, Walzverdichtung, Probenahme und Prüfung, die Auswirkungen auf das Prüfergebnis haben, sich gegenseitig überlagern oder aufheben können, so dass einzelne Einflussgrößen mit den Prüfergebnissen nicht quantifiziert werden können. Die Veränderungen der Korngrößenverteilung im Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne konnten durch die zusätzlichen Laborversuche des Forschungsprojektes (s.a. Kapitel 6.5.3) belegt werden. Ferner kann mit den Forschungsergebnissen aufgezeigt werden, dass Asphaltgemische mit zunehmenden Größtkorn (ATS 0/32 CS) und insbesondere ABi 0/22 S mit seinem hohen Grobkornanteil infolge eines größeren Größenabstands zur nächst kleineren Körnung, eine erhebliche Kornverfeinerung der Grobkornanteile durch die Schneidwirkung der Bohrkronen aufweisen.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes mit den Auswertungen dieser Arbeit zeigen, dass Mischguteigenschaften auch an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen bestimmt werden können. Die Probenahmeverfahren „BKD“ und „VER“ sind unter Berücksichtigung beschriebener Einflussmerkmale miteinander vergleichbar.

7 Entwicklung eines prozessorientierten Prüfplans

7.1 Allgemeines

Ein prozessorientierter Prüfplan soll sicherstellen, dass die Tätigkeitsabläufe bei Prüfung von Qualitätsforderungen festgelegt, dokumentiert und eingehalten werden. Grundsätzlich stellt sich dabei die Frage, wie spezifische Prüfpläne im Straßenbau für die Prozessbeteiligten ausgestaltet werden sollten, denn maßgebend sind auch die bauvertraglichen Rahmenbedingungen. Ausgehend von dem Regelkreis der Qualitätssicherung (s.a. Kapitel 5.1.3) wird für die Prozesse der Qualitätskontrolle mit den jeweiligen Schnittstellen zu anderen Prüfprozessen ein Prüfplan beschrieben, der die Tätigkeiten mit dazugehörigen Ressourcen festlegt. Die Prüfstelle und deren Belange als Kompetenzstelle zur Durchführung von Qualitätsprüfungen, in einer reibungslosen Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber als Bauherr einer Straßenbaumaßnahme und dem Auftragnehmer als Bauausführender, nimmt eine zentrale Position ein.

Die in der Praxis bewährten Abnahmevorschriften des Technischen Regelwerks werden Teil dieses Prüfplans, so dass die Anzahl der Stichproben mit den zugeordneten Einbauflächen vordefiniert sind. Falls im Anwendungsfall hiervon abgewichen werden soll, können die Beteiligten in eigenem Ermessen auf Grundlage statistischer Entscheidungsregeln die Prüfhäufigkeit anpassen.

Teil des prozessorientierten Prüfplans, der aus einer Prüfablaufplanung und Prüfspezifikationen mit Prüfanweisungen besteht, sind qualitätssichernde Maßnahmen, die es ermöglichen den Prüfprozess wirtschaftlich und fehlerfrei zur Zufriedenheit aller Beteiligten zu gestalten.

Die Anwendbarkeit des Bohrkern-Probenahmeverfahrens, auch zur Bestimmung von Prüfmerkmalen des Asphaltmischguts, bietet die Möglichkeit dieses Verfahren als Standardverfahren im Prüfplan aufzunehmen.

7.2 Qualitätssichernde Maßnahmen

Die Tabelle 7-1 definiert aus eigenen Überlegungen qualitätssichernde Maßnahmen und setzt diese in Bezug zum Nutzen für die Prozesse der Qualitätskontrolle. Qualitätssichernde Maßnahmen können vor Beginn einer Baumaßnahme in einem

Prüfplan festgelegt werden, jedoch zeigt sich oftmals erst während der Bauausführung die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen. Ein allgemeingültiger Prüfplan enthält daher zunächst Grundmerkmale, die dann im Bedarfsfall mit Zusatzmerkmalen ergänzt werden können.

| Qualitätssichernde Maßnahme | Nutzen für die Prozesse der Qualitätskontrolle |
|--|---|
| Dokumentation des Prüfplans | Vorgabedokument mit Anweisungen für auszuführende Tätigkeiten als Grundlage für den Informationsfluss zur Fehlervermeidung |
| Lenkung von Dokumenten | Freigabe und Verteilung gültiger Dokumente und Verfügbarkeit an Einsatzorten für zeitnahe und zutreffende Beurteilung der Leistung |
| Anfertigen von Niederschriften und Protokollen | Nachweisdokumente erreichter Ergebnisse und tätigkeitsbezogene Aufzeichnungen für den Informationsaustausch und Beurteilung der Leistung |
| Zeitplanung und Fristensetzung | Zeitmanagement aller Beteiligten zum Vorhalten von Ressourcen zur zeitnahen Beurteilung der Leistung |
| Festlegen von Zuständigkeiten | Ansprechpartner für die auszuführenden Tätigkeiten für den Informationsfluss |
| Besprechungen | Informationsaustausch über alle Belange und Abläufe der Baumaßnahme, die zur Verbesserung der Zusammenarbeit aller Beteiligten dient |
| Stichprobenartige Kontrollen | Beobachtung und Erkennen von Ablaufveränderungen bei Mischgutanlieferung sowie bei Einbau und Walzverdichtung von Asphalt, die eine weiterführende Bewertung von Prüfergebnissen ermöglicht |
| Zusätzliche Prüfungen | Prüfungen bei Mischgutanlieferung sowie bei Einbau und Walzverdichtung von Asphalt, die eine weiterführende Bewertung von Prüfergebnissen ermöglicht |
| Proben mittels Bohrkernverfahren zur Beurteilung der Mischguteigenschaften | Prozessorientierte Probenahme zur Minimierung von Fehlern im Prozess der Qualitätskontrolle |
| Berichte | Zusammenstellung nützlicher Dokumente und Aufzeichnungen, um Tätigkeiten und Ergebnisse beurteilen zu können |
| Mitarbeiterschulung | Weiterbildungsmaßnahmen und Seminare zur fachlichen Qualifikation der Mitarbeiter |

Tabelle 7-1: Qualitätssichernde Maßnahmen und deren Nutzen für die Prozesse der Qualitätskontrolle

Die qualitätssichernden Maßnahmen im prozessorientierten Prüfplan sollen die Qualitätsdefizite in den Schnittstellenbereichen der Prozessbeteiligten in den Prozesselementen „Auftragsannahme“, „Probenahme“, „Probenversand“ und „Prüfbericht“ minimieren. In dem Kapitel 5.3.7, mit Verweis auf die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse der **Anlage 3**, werden diesen Prozessmerkmalen mögliche Verbesserungsmaßnahmen zugeordnet.

Die definierten qualitätssichernden Maßnahmen beziehen sich neben den Festlegungen zu den Prüfungen auch auf folgende Qualitätsmerkmale:

- Information
- Dokumentation
- Qualifikation

Der Informationsaustausch muss zwischen allen Beteiligten in den Prozessen der Qualitätskontrolle gegeben sein. Neben dem formalen Wissen ist auch das subjektive Wissen von Bedeutung. Das Wissen muss auf unkomplizierte und schnelle Art allen Mitarbeitern zu Verfügung stehen. Die Bildung von Gesprächskreisen, an bestimmten Zeitpunkten, kann hierfür hilfreich sein. Bei Projektbesprechungen kann neben den systematischen Fachthemen auch eine soziale Interaktion stattfinden, die ein Mehrwert an Wissen vermitteln kann. Die Regelung von Zuständigkeiten schafft eine Grundlage, Informationsflüsse entlang der Prozesskette zu lenken. Entscheidend ist die externe Kommunikation zwischen den Beteiligten, die wirksam und effizient erfolgen muss.

Die Dokumentation von Informationen als Wissenstransfer spielt eine entscheidende Rolle. Mit Zeitplanungen werden subjektive Informationen bewertbar, da bis zu einem Stichtag geprüft werden kann, ob die notwendigen Informationen vollständig dokumentiert vorhanden sind. Werden keine oder nur unzureichend Informationen ausgetauscht, wächst die Unzufriedenheit aller Beteiligten mit der Folge, dass keine konstruktive Zusammenarbeit stattfinden kann.

Die fachliche Qualifikation kann, wenn Erfahrungen oder eine Ausbildung in Durchführung von Prüfprozessen nicht gegeben ist, mit Schulungen erreicht werden. Dies kann jedoch nicht nur mit der Umsetzung eines Prüfplans erreicht werden, vielmehr gilt es, in dem Prozess der Qualitätskontrolle den Schulungsbedarf zu erkennen. Die fachliche Qualifikation als solche ist von den Prozessbeteiligten intern in den jeweiligen Organisationen durch entsprechende Maßnahmen sicherzustellen.

Eine wesentliche qualitätssichernde Maßnahme wird in der Anwendung eines veränderten Probenahmekonzepts gesehen. Die Durchführung von Kontrollprüfungen an wiedererwärmten Bohrkernen soll Qualitätsdefizite in den Prozessen der Qualitätskontrolle minimieren. Es können Fehler vermieden werden, die sich in einer manuellen Probenahme von Asphaltmischgut begründen und Auswirkungen auf die Qualitätsbeurteilung des Produkts haben.

7.3 Prüfplan

7.3.1 Prüfablaufplan

Die Prüfablaufplanung legt die Abfolge einzelner Qualitätsprüfungen fest. Die Prüfplanung sollte vertraglich geregelt werden und ist vor Baubeginn mit allen Beteiligten abzustimmen. Eine baubegleitende Dokumentation der Tätigkeiten des Prüfplans kann mit individuell angefertigten Checklisten und Formularen erfolgen.

Die Zuständigkeit für die fach- und anforderungsgerechte Leistung bleibt ausschließlich beim Auftragnehmer, den benannten bauausführenden Unternehmen sowie den verantwortlichen Herstellern. Die qualitätssichernden Maßnahmen, die im Prüfplan festgelegt werden, führen nicht zwangsläufig zur Sicherstellung der anforderungs- und fachgerechten Leistung.

Die Beteiligten der Prüfprozesse sind als verantwortliche Personen mit Stellvertreter vor Beginn der Bauausführung namentlich zu benennen. Änderungen der verantwortlichen Personen sind umgehend und unaufgefordert dem Auftraggeber schriftlich mitzuteilen. Die verantwortlichen Prozessbeteiligten (s.a. Kapitel 5.1.2) sollten die fachliche Qualifikation haben, die einzelnen Prüfprozesse, in ihren Kompetenzbereichen zu begleiten.

Die Tabelle 7-2 beschreibt die Umsetzung qualitätssichernder Maßnahmen in einem prozessorientierten Prüfablauf der Qualitätskontrolle. Die einzelnen Tätigkeiten und der dokumentierte Informationsaustausch der Beteiligten von Bauherr bzw. Auftraggeber (AG), bauausführenden Unternehmen bzw. Auftragnehmer (AN) und von der Prüfstelle (P) werden erfasst.

| Zeitraum | Tätigkeitsbeschreibung | Dokumentation der Informationen | | Beteiligte |
|---------------|---|---------------------------------|-----------------|---------------|
| | | Ausgang von/über | Eingang an | |
| Vor Baubeginn | Überprüfung der Dokumente (Leistungsbeschreibung, Eignungsnachweise) auf Vollständigkeit | AN/AG | P | AG P |
| | Projektvorbesprechung, Erläuterung der Prüfplanung, Protokoll erstellen | AG | AN P | AG AN P |
| | Festlegen eines Probenahmeplans für Kontrollprüfungen | P/AG | AN | AG P |
| Bauphase | Eigenüberwachungsprüfungen durch das bauausführende Unternehmen, Bericht erstellen | AN | AG | AN AG |
| | Stichprobenartige Kontrollen und/oder zusätzliche Prüfungen, Protokolle und Bericht erstellen | P oder AG | P oder AG | AG P |
| | Besprechungen vor Begehungen/Teilabnahmen, Protokoll erstellen | AG | AN P | AG AN P |
| | Durchführung von Kontrollprüfungen für Teilabnahmen, Niederschrift/Protokoll erstellen | P oder AG | P oder AG AN | AG AN P |
| Nach Bauende | Schlussbesprechung vor Abnahme, Protokoll erstellen | AG | AN P | AG AN P |
| | Durchführung der Kontrollprüfungen, Niederschrift und Prüfbericht erstellen | P | AG | AG AN P |

Tabelle 7-2: Tätigkeiten und Informationsaustausch der Beteiligten im Prüfablauf der Qualitätskontrolle

Die Prüfstelle führt während der Bauausführung die „Fremdprüfung“ aus und überprüft im Auftrag des Auftraggebers die Einhaltung und die Ausführung des Prüfplans. Der Umfang der Tätigkeiten der Fremdprüfung ist davon abhängig, inwieweit die vom Auftraggeber eingesetzte örtliche Bauüberwachung diese Überwachungsfunktion selbst einnehmen kann. Die Prüfstelle sollte an Besprechungen vor Baubeginn, bei Begehungen oder Teilabnahmen und an der Abnahme teilnehmen und im Zweifel auch zusätzliche qualitätssichernde

Maßnahmen anregen. Ferner wird die Prüfstelle vom Auftraggeber vor Baubeginn zur Durchführung der Kontrollprüfungen beauftragt.

Die für die Prüfstelle relevanten Informationen der Baumaßnahme werden über den Auftraggeber an die Prüfstelle noch vor Beginn der Baumaßnahme weitergeleitet. Eignungsnachweise sollte der Auftragnehmer der Prüfstelle mindestens 10 Werktage vor der Bauausführung zur Kenntnisnahme einreichen. Die stichprobenartigen Kontrollen der qualitätssichernden Maßnahmen werden während der Bauphase dokumentiert und stehen der Prüfstelle für die Qualitätsbeurteilung zu Verfügung.

Falls Anforderungen nicht erfüllt sind, wird der Auftragnehmer ebenfalls über den Auftraggeber darüber informiert. Sämtliche Dokumente und Aufzeichnungen, auch die der Prüfstelle werden auf der Baustelle von der örtlichen Bauüberwachung zur Einsicht aufbewahrt.

Von allen Prüfungen werden Abschluss- bzw. Prüfberichte für die einzelnen Gewerke und Bauabschnitte angefertigt. Diese sind Grundlage für die VOB-Abnahme. Die Vorlage der abschließenden Prüfberichte nach Fertigstellung der Baumaßnahme sollte zeitnah erfolgen und mit einer Frist terminiert werden.

7.3.2 Prüfspezifikation und Prüfanweisung

Prüfspezifikationen bilden die Grundlage für Prüfanweisungen und legen die Prüfmerkmale mit den erforderlichen Prüfverfahren und Anforderungswerten fest.

Die Art und der Umfang von Kontrollprüfungen an Asphaltmischgut und der eingebauten Schicht sind im Technischen Regelwerk festgelegt und werden Teil des Prüfplans (s.a. Kapitel 5.3.2, Abbildung 5.8). In den Grundlagenkapiteln 4.2.3 und 4.2.4 dieser Arbeit werden hierzu die Prüfumfänge von „Kontrollprüfungen“, „Zusätzlichen Kontrollprüfungen“ und „Schiedsuntersuchungen“ beschrieben.

Ein verändertes Probenahmekonzept hat keinen Einfluss auf die Auswahl der Asphaltprüfmerkmale. Hingegen können, wie in Kapitel 6.5.2 nachgewiesen, zusätzliche Einflüsse auftreten, die durch stichprobenartige Kontrollen und zusätzlichen Untersuchungen festzustellen sind.

Für den Prozess der Kontrollprüfung werden im Prüfplan der Tabelle 7-3, die Prüfspezifikationen zusätzlicher Prüfungen und Kontrollen den Fertigungsschritten

zugeordnet, festgelegt.

| Nr. | Prüfort | Prüfmerkmal/Prüfgegenstand | Prüfverfahren | Prüfhäufigkeit |
|---|--------------------------|--|----------------------------|--|
| 1 Mischgutanlieferung | | | | |
| 1.1 | Einbaustelle | Überprüfung Mischgutsorte, Lieferschein | Einsichtnahme | stichprobenartig |
| 1.2 | Einbaustelle | Temperatur des Mischguts | Messung der Temperatur | stichprobenartig |
| 1.3 | Einbaustelle | Beschaffenheit des Mischguts | Beobachtung | stichprobenartig |
| 1.4 | Einbaustelle | Schädliche Bestandteile im Mischgut | Beobachtung | stichprobenartig |
| 2 Einbau und Walzverdichtung von Asphalt | | | | |
| 2.1 | Probenahmestelle | Temperatur von Mischgut, Luft, und Unterlage | Messung der Temperatur | je angefangene 6.000 m ² je Schicht |
| 2.2 | Probenahmestelle | Witterungsverhältnisse | Beobachtung | je angefangene 6.000 m ² je Schicht |
| 2.3 | Probenahmestelle | Maschinenkonfiguration der Einbau- und Verdichtungsgeräte | Beobachtung | je angefangene 6.000 m ² je Schicht |
| 2.4 | Probenahmestelle | Kontinuierliche Beschickung des Straßenfertigers | Beobachtung | je angefangene 6.000 m ² je Schicht |
| 2.5 | Probenahmestelle | Art der Walzverdichtung, Anzahl der Verdichtungsübergänge | Beobachtung | je angefangene 6.000 m ² je Schicht |
| 3 Fertige Schicht | | | | |
| 3.1 | Probenahmestelle | Gleichmäßige Beschaffenheit der Oberfläche | Beobachtung | je angefangene 6.000 m ² je Schicht |
| 4 Zusätzliche Baustoffe | | | | |
| 4.1 | Einbau von Deckschichten | Beschaffenheit und Korngrößenverteilung des Abstreusplitts | Beobachtung und Probenahme | je Einbautag |

Tabelle 7-3: Prüfplan zusätzlicher Prüfungen und stichprobenartiger Kontrollen der Kontrollprüfung

Der Prüfplan gliedert sich in die Teilprozessschritte „Mischgutanlieferung“, „Einbau und Walzverdichtung von Asphalt“, „Fertige Schicht“ und „Sonstige Baustoffe“. Die Beobachtung und Messung der Prüfmerkmale dienen der Qualitätsbeurteilung des Produkts. Die Prüfmerkmale bei Mischgutlieferung werden stichprobenartig nach Erfordernis protokolliert. Die Prüfmerkmale des „Einbau- und Verdichtungsprozesses von Asphalt“ und der „Fertigen Schicht“ werden an der Probenahmestation nach vorher festgelegtem Probenahmeplan zur Durchführung der Kontrollprüfungen protokolliert. Der Prüfplan lässt somit die Möglichkeit zu bereits nach Fertigstellung einer Schicht, noch vor dem Überbauen der nächsten Schicht, eine Begehung oder auch eine Teilabnahme durchzuführen, ohne dass eine Bohrkernentnahme getrennt für jede Schicht durchgeführt werden muss.

Die Beschaffenheit des Abstreusplitts ist bei Einbau von Deckschichten stichprobenartig zu prüfen und eine repräsentative Probe je Einbautag zur Bestimmung der Korngrößenverteilung im Laboratorium zu entnehmen.

Die Untersuchungen, die vom Auftragnehmer im Rahmen der Eigenüberwachung durchzuführen sind, bleiben von diesem Prüfplan unberührt. Werden die Eigenüberwachungsuntersuchungen vom Auftragnehmer im erforderlichen Umfang durchgeführt und für den Auftraggeber einsehbar dokumentiert, so liegt es im Ermessen des Auftraggebers, auf eigene zusätzliche Untersuchungen zu verzichten.

Die Prüfstelle benötigt für die Qualitätsbeurteilung der fertigen Leistung zur Interpretation der Kontrollprüfungsergebnisse die Prüfprotokolle nach dem Prüfplan. Die anforderungsgerechte Leistung kann unter Berücksichtigung der Einflussmerkmale und zusätzlicher Toleranzen, sinngemäß der Bewertung von Ergebnissen an Mischgut wiedererwärmter Bohrkern nach Kapitel 6.5.4, mit den Grenzwerten des Regelwerks beurteilt werden.

7.3.3 Probenahmeplan der Qualitätskontrolle

Der Probenahmeplan bei Durchführung von Kontrollprüfungen ist vor Baubeginn festzulegen und wird Teil des Prüfplans. Die zu entnehmenden Proben bestehen ausschließlich aus Bohrkernen, die mit einem Straßenkernbohrgerät aus der Asphaltbefestigung gewonnen werden.

Für die Probenahme selbst gelten die Grundsätze und Verfahrensbeschreibungen, nach TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009]. Im Rahmen von Kontrollprüfungen werden

demnach zur Schonung der Asphaltbefestigung nur Teilproben für die Prüfstelle entnommen. Falls erforderlich, besteht jederzeit die Möglichkeit weitere Teilproben aus gleichem Einbaubereich für die Prozessbeteiligten zu entnehmen. Die Größe oder Menge der Probe richtet sich nach dem Umfang der durchzuführenden Untersuchungen und nach der Beschaffenheit des Prüfguts. Bei geringeren Einbaudicken müssen grundsätzlich größere Mengen entnommen werden.

Zur Beurteilung des Asphaltmischguts und der fertigen Leistung sind im Rahmen von Kontrollprüfungen folgende Bohrkernproben zu entnehmen:

- Zur Bestimmung der Raumdichte je Entnahmestelle zwei Bohrkern mit einem Durchmesser von mindestens 150 mm nach TP Asphalt [FGSV, 2009]
- Zur Bestimmung des Schichtenverbundes je Entnahmestelle zwei Bohrkern mit einem Durchmesser von (150 ± 2) mm nach TP Asphalt [FGSV, 2009]
- Zur Bestimmung der Prüfmerkmale des Asphaltmischguts je Entnahmestelle fünf Bohrkern als Durchschnittsprobe mit einem Durchmesser von mindestens 150 mm (s.a. Kapitel 6.4.2)

Die zur Bestimmung des Schichtenverbundes entnommenen Bohrkern der Durchschnittsprobe dürfen nicht für die Bestimmung der Raumdichte verwendet werden. Diese können jedoch nach der Prüfung des Schichtenverbundes genauso wie die Bohrkern zur Bestimmung der Raumdichte nach der Prüfung, der Laboratoriumsprobe zur Bestimmung der Prüfmerkmale des Asphaltmischguts zugeordnet werden.

Der Bohrkerndurchmesser der zu entnehmenden Proben wird zur Bestimmung aller Prüfmerkmale einheitlich auf 150 ± 2 mm festgelegt.

Für das Messen der Schichtdicke, die an einem Bohrkern je Entnahmestelle durchzuführen ist, muss keine zusätzliche Probe entnommen werden.

Für eine repräsentative Probenahme der Qualitätskontrolle ist es im Probenahmeplan daher hinreichend, je angefangene 6.000 m² Einbaufläche eine Probenahmestelle zur Entnahme von fünf Bohrkernen festzulegen.

Die Entnahme erfolgt nach der Fertigstellung der obersten Schicht. Die Probenahme von überbauten Schichten kann zur Bestimmung der Prüfmerkmale des Asphaltmischguts nur repräsentativ sein, wenn die Bohrkern im Abstand von etwa 5 m diagonal über den Einbaustreifen entnommen werden. Die

Entmischungsneigung von Mischgut im Einbauprozess, die zu Inhomogenitäten in der fertigen Schicht (s.a. Kapitel 6.3.2) führen kann, wird mit diesen Festlegungen kompensiert. Die äußeren Entnahmestellen der Durchschnittsprobe sollten abweichend zur TP Asphalt [FGSV, 2009] einen Mindestabstand von einem Meter zur Außenkante des Einbaustreifens aufweisen.

Eine Entnahme aus diesen Bereichen des Einbaustreifens führt in aller Regel zu einer repräsentativen Probenahme in unbeanspruchten Bereichen, außerhalb von Rollspuren des Fahrstreifens einer Asphaltbefestigung. Die Vermeidung negativer Nebeneffekte von Fehlstellen in der Asphaltbefestigung infolge der Probenahme sowie die Vergleichbarkeit zu Teilproben, die aus der Asphaltbefestigung nach Einwirkungen durch Verkehrsbelastung entnommen werden, können durch diese Festlegungen erreicht werden. Aus den beschriebenen Festlegungen und Überlegungen wird der Probenahmeplan der Abbildung 7.1 zur Entnahme von Bohrkernen entwickelt.

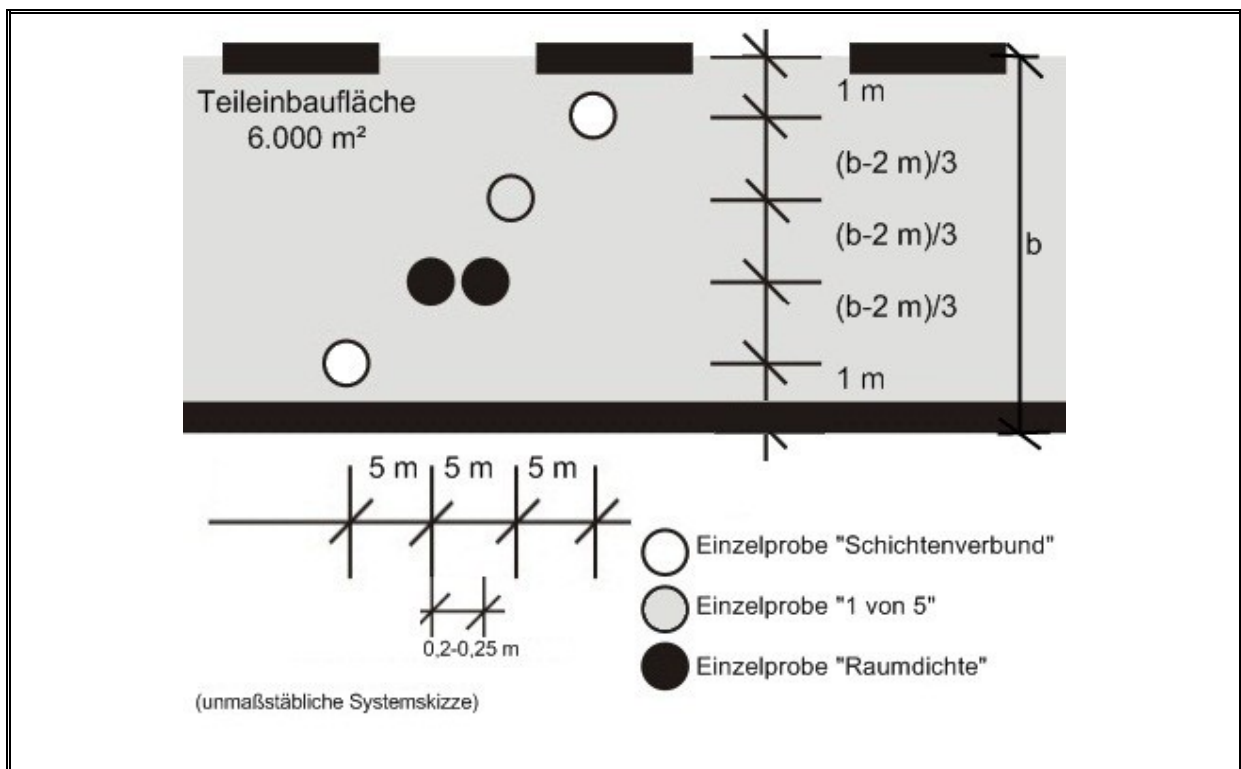


Abbildung 7.1: Probenahmeplan der Qualitätskontrolle zur Bohrkernentnahme

Die äußeren Bohrkernproben im Einbaustreifen mit der Breite „b“ sind als Einzelproben „Schichtenverbund“ für die Bestimmung des Schichtenverbundes zu entnehmen. Die zwei Bohrkernproben „Einzelprobe Raumdichte“ werden im Abstand von 5-10 cm hintereinander in Einbaurichtung und im Abstand von der sich rechnerisch zu ermittelnden Drittelfläche der Einbaubreite „b“ abzüglich zwei Meter zur äußeren Bohrkernprobe angeordnet. Die Einzelprobe „1 von 5“ bildet mit allen Einzelproben eine Durchschnittsprobe zur Bestimmung der Prüfmerkmale an Asphaltmischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen.

Bei „Zusätzlichen Kontrollprüfungen“ kann im Einzelfall von diesem Probenahmeplan durch die Entnahme von mindestens zwei Einzelproben für ein Prüfmerkmal abgewichen werden. Falls in diesen Fällen Bohrkern aus nicht überbauten Schichten zur Bestimmung bestimmter Prüfmerkmale des Asphaltmischguts entnommen werden, erfolgt eine Auswahl von zwei typischen bzw. wesentlichen Einzelproben, die als Sammelprobe einer Durchschnittsprobe entsprechen können.

Bei Schiedsuntersuchungen wird zur Bestimmung von Prüfmerkmalen an Asphaltmischgut in allen Fällen die Entnahme einer Durchschnittsprobe, bestehend aus fünf Bohrkernen, empfohlen.

8 Wirksamkeit des prozessorientierten Prüfplans

8.1 Gebrauchstauglichkeit des Probenahmekonzepts

Das entwickelte Probenahmekonzept aus Kapitel 7.3.3 soll die Voraussetzungen für einwandfreie Untersuchungsergebnisse und deren Beurteilung legen. Grundlage des Konzeptes ist die Durchführung des automatisierten Bohrkernverfahrens. An dieses Konzept sind Forderungen an die Qualität zu stellen, deren Bewertung aufzeigt, ob das Konzept den Zweck der Prozessverbesserung einer Probenahme erfüllen kann. Aus der Literaturstudie sind folgende Qualitätsforderungen abzuleiten:

- Funktionalität
- Effizienz
- Brauchbarkeit
- Zuverlässigkeit
- Verfügbarkeit

Funktionalität

Unter Funktionalität ist zu verstehen, dass das Probenahmeverfahren normkonform anwendbar sein muss und Proben nach einem Plan gewonnen werden, aus denen präzise Messergebnisse ermittelt werden können. Das Verfahren, als Teil des Prüfprozesses, soll in der Anwendung den eigentlichen Herstellprozess und das Produkt „Asphaltstraße“ nicht negativ beeinflussen.

Eigene Untersuchungen an Durchschnittsproben aus Bohrkernen zur Ermittlung der Prüfmerkmale von Asphaltmischgut, wie in Kapitel 6.4.4 nachgewiesen, führen zu Prüfergebnissen mit geringen zufallsbedingten Abweichungen und sind mit anderen Verfahren, die Anwendung finden, vergleichbar. Durch die Anordnung und Anzahl der zu entnehmenden Bohrkern im Probenahmeplan repräsentiert die gewonnene Probe die durchschnittliche Beschaffenheit des angelieferten und zu verarbeitenden Materials, wodurch die auftretenden zufallsbedingten Abweichungen minimiert werden können.

Eine höhere Anzahl an entnommenen Bohrkernen bewirkt gleichzeitig, dass ausreichend Probematerial zur Bestimmung aller Prüfmerkmale im Laboratorium

vorrätig ist. Die entnommenen Proben können jederzeit einer Entnahmestelle zugeordnet werden, so dass für die Untersuchungen auch immer das zugehörige Prüfgut zur Verfügung steht.

Das Probenahmekonzept ist bei einer Probenahme überbauter Schichten nur dann wirksam, wenn dieses Teil eines Prüfplans wird, der die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit der fertigen Schicht vor dem Überbauen vorsieht. Mit dieser Beurteilung wird angenommen, dass die Prüfergebnisse kennzeichnend für die zugeordnete Fläche sind.

Die Durchführung der Bohrkernentnahme erfolgt erst nach Abschluss der Baumaßnahme, so dass der Einbauprozess und damit das zu erstellende Produkt „Asphaltstraße“ nicht durch das Verfahren behindert wird. Die Asphaltbefestigung weist allerdings durch die Bohrkernentnahme aus der Asphaltbefestigung Fehlstellen auf. Um mögliche negative Auswirkungen dieser Fehlstellen infolge Verkehrsbelastung und Witterung zu verhindern, ist das Verfüllen der Bohrkernlöcher mit besonderer Sorgfalt auszuführen. Bei den eigens durchgeführten Bohrkernentnahmen im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die Bohrkernlöcher mit einem Zement-Baustoffgemisch verfüllt und mit einer oberen dünnen Heißasphaltschicht versiegelt. Diese Vorgehensweise erwies sich als effektiv, auch nach fünf Jahren Nutzungsdauer der untersuchten Asphaltbefestigungen konnte an den Probenahmestellen augenscheinlich kein Schadensbild erfasst werden. Die möglichen negativen Auswirkungen werden bereits durch den Probenahmeplan mit der Vorgabe der Lage, Anzahl und Durchmesser der Bohrkern auf ein Minimum reduziert. Im Vergleich zum Regelwerk nach TP Asphalt, Teil 27 [FGSV, 2009], dass für Untersuchungen an der fertigen Schicht eine Entnahme von vier Bohrkernen vorsieht, ist die auf den Prüfablauf optimierte Entnahme, von in der Summe fünf Bohrkernen, für alle Untersuchungen am Asphaltmischgut und an der fertigen Schicht wirtschaftlich vertretbar.

Die Funktionalität des Probenahmekonzepts ist hingegen ausschließlich bei Walzasphalten gegeben. Bei einem Einbau von Gussasphalt ist das Konzept nicht anwendbar und bleibt bei Baumaßnahmen mit Gussasphalt, im zweischichtigen Ausbau oder im Vollausbau, auf die Walzasphaltunterlage des Gussasphaltes beschränkt. Bei kleineren Baumaßnahmen und speziellen Kleinprojekten, wie bei Anschlüssen an Einbauten, ist die Anwendung des Konzeptes nicht effizient. Es sollte ein mit Straßenfertiger maschinell eingebauter Einbaustreifen mit einer Mindestlänge von rund 50 m vorliegen, um mit dem vorgeschlagenen Probenahmekonzept repräsentative Proben gewinnen zu können. Die Probenahme

sollte nicht aus dem Bereich von Quernähten erfolgen, wie diese bei Tagesanschlüssen ausgebildet werden.

Effizienz

Die Effizienz des Probenahmekonzepts lässt sich daraus ableiten, dass die Entnahme eines zusätzlichen Bohrkerns, verbunden mit der im Bauablauf notwendigen Dokumentation und Einhaltung der Prüfablaufplanung, den gesamten Prozess der manuellen Probenahme ersetzt. Im Gegensatz zur manuellen Probenahme, die aufgrund ihrer vermeintlichen Unkompliziertheit von jeder Person mit einfachen Hilfsmitteln ohne Anwesenheit der Prozessbeteiligten ausgeführt werden kann, wird bei der Bohrkernentnahme zur Gewinnung von Durchschnittsproben die Verfügbarkeit von auf diesen Teilprozess ausgerichtete Ressourcen vorausgesetzt. Zu diesen Ressourcen gehören qualifiziertes Personal, Gerät, Prüfmittel und der Informationsaustausch während des Prüfablaufs zwischen allen Prozessbeteiligten. Der Einsatz dieser Ressourcen sind Grundsätze einer Probenahme, die auch für die manuelle Probenahme Gültigkeit besitzen. Doch finden sie in der Praxis oftmals keine Anwendung, da sie nicht gefordert werden und das manuelle Probenahmeverfahren selbst, Teil eines Interessenskonflikts zwischen den Prozessbeteiligten sein kann.

Brauchbarkeit

Die mit dem Probenahmeplan gewonnen Proben beeinträchtigen nicht die Brauchbarkeit, der an ihnen ermittelten Prüfergebnisse. Die gewonnenen Proben müssen dem Probenahmeplan entsprechend lesbar und dauerhaft gekennzeichnet sein sowie unbeschädigt vom Probenehmer zur Prüfstelle transportiert werden. Die Aufteilung der Durchschnittsprobe als Sammelprobe zu Teilproben muss im Laboratorium erfolgen. Hierbei können die Untersuchungsabläufe so organisiert werden, dass kein nachteiliger Einfluss infolge thermischer Überbeanspruchung einer Einzelprobe auftritt. Mögliche Einflüsse der Probenteilung, durch Scherversuch oder Trennschnitt, einzelner Schichten auf Prüfergebnisse haben sich im Forschungsprojekt als nicht relevant erwiesen. Grundsätzlich sind alle Probeteile, auch die angeschnittenen Körner aus der Mantelfläche des Bohrkerns in der Probe zu belassen.

Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit des Bohrkernverfahrens ist in der täglichen Praxis im Straßenbau nachgewiesen. Es ist ein anerkanntes Probenahmeverfahren, das im Regelfall zur Entnahme von Bohrkernen zur Bestimmung des Verdichtungsgrades der fertigen Leistung angewandt wird. Ein größerer Probenumfang beeinträchtigt das Verfahren nicht, vorausgesetzt die geeigneten Prüfmittel werden eingesetzt, um die Bohrkern in voller Länge aus der Asphaltbefestigung zu gewinnen. Eine wesentliche Einschränkung des Verfahrens ist, dass infolge des Einfrierens der Wasserkühlung bei Frost ohne geeignete Zusatzmittel das Verfahren nicht ausführbar ist. Die spezifizierten Einbaubedingungen des Regelwerks [ZTV Asphalt, 2001/2007] sehen jedoch für Asphaltdecken keinen Einbau bei Lufttemperaturen kleiner 0°C vor, was letztlich auch mit Temperaturmessung beim Einbau durch Umsetzung des Prüfplans sichergestellt wird.

Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit eines Kernbohrgerätes ist in Prüfstellen flächendeckend gegeben, um die Durchführung des Probenahmeplans landesweit gewährleisten zu können. Das Verfahren selbst ist in der Handhabung einfach und verständlich, so dass mit internen Schulungsmaßnahmen das Bedienpersonal qualifiziert werden kann.

8.2 Beurteilung qualitätssichernder Maßnahmen des Prüfplans

Die Wirksamkeit qualitätssichernder Maßnahmen des Prüfplans kann erst dann beurteilt werden, wenn Bewertungsmaßstäbe und Qualitätskennzahlen vorliegen. Mit der Ermittlung von Kenngrößen und Qualitätskennzahlen kann ein Nutzwert, aber auch eine mögliche Wirkungslosigkeit festgelegter qualitätssichernder Maßnahmen festgestellt werden.

Nach den Ausführungen in Kapitel 7.2 werden in den Prüfprozessen mit den festgelegten qualitätssichernden Maßnahmen folgende Nutzen angestrebt:

- Informationsaustausch
- Informationsfluss
- Fachliche Qualifikation
- Zeitnahe und zutreffende Beurteilung der Produktqualität
- Weiterführende Bewertung von Prüfergebnissen
- Prozessfähigkeit der Probenahme

Informationen als subjektive Einschätzungen können als Qualitätskennzahl nur indirekt erhoben werden. Sie können lediglich in der Interaktion der Prozessbeteiligten über die Erfassung der Verfügbarkeit und Vollständigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt bewertet werden. Die Verfügbarkeit und Vollständigkeit von Informationen kann an festgelegten Stichtagen überprüft werden, indem der Posteingang dokumentierter Informationen registriert wird. Zu einem Stichtag kann bewertet werden, ob die Informationen ohne Anforderung vollständig zur Verfügung stehen. Falls Informationen zwischen den Prozessbeteiligten angefordert werden, kann der Informationsfluss als Reaktion auf die Anforderung bewertet werden. Informationen können trotz Anforderung schnell oder gar nicht bereit gestellt werden. Die Kriterien der Verfügbarkeit und Vollständigkeit können klassifiziert und mit einer Bewertungszahl versehen werden.

Der Effekt aus Schulungen kann indirekt mit Kennwerten sinkender Fehlerzahlen, geringeren Prüfkosten infolge nicht notwendiger Wiederholungsprüfungen, schnellerer Abnahme von Baumaßnahmen und mit nicht vorhandenen Folgekosten möglicher Qualitätsfehlbeurteilungen ermittelt werden. Die Qualifikationsmaßnahmen und der Schulungsaufwand sind jedoch nicht einem Prüfprozess einzelner Baumaßnahmen zuzuordnen, da diese nicht Teil eines Prüfplans sein können.

Der Einfluss der umgesetzten Maßnahmen auf die effektive Beurteilung der Produktqualität und die Prozessfähigkeit der Probenahme kann mit Qualitätskennzahlen bewertet werden. Hierzu werden in Tabelle 8-1 nicht-monetäre Qualitätskennzahlen zur Beurteilung des Prüfprozesses definiert.

| Qualitätskennzahl | Kenngroßen |
|---|--|
| Grad der Fehlerfreiheit der Kontrollprüfung [%] | Anzahl der „Schiedsuntersuchungen“ im Verhältnis zur Anzahl der Kontrollprüfungen |
| Grad der Fehlerfreiheit der Probenahme [%] | Anzahl „Zusätzlicher Kontrollprüfungen“ im Verhältnis zur Anzahl der Kontrollprüfungen |
| Zeitbezogene Fehleranzahl [%] | Anzahl aller Fehler im Verhältnis zur Prüfzeit |
| Absolute Fehleranzahl der „Auftragsannahme“ | Anzahl der Fehler im Prozesselement „Auftragsannahme“ |
| Absolute Fehleranzahl der „Probenahme“ | Anzahl der Fehler im Prozesselement „Probenahme“ |
| Absolute Fehleranzahl des „Probenversands“ | Anzahl der Fehler im Prozesselement „Probenversand“ |
| Absolute Fehleranzahl des „Prüfberichts“ | Anzahl der Fehler im Prozesselement „Prüfbericht“ |

Tabelle 8-1: Nicht-monetäre Qualitätskennzahlen zur Beurteilung der Prüfprozesse

Die Qualitätsfähigkeit der Prüfprozesse lassen sich mit den Qualitätskennzahlen „Absolute Fehleranzahl“, „Zeitbezogene Fehleranzahl“ und „Grad der Fehlerfreiheit“ bewerten. Die Qualitätskennzahlen können über Kenngroßen durch Messung oder Zählung bestimmt werden.

Je geringer der Wert der Qualitätskennzahl „Grad der Fehlerfreiheit“ ausfällt, desto besser wird die Prozessqualität beurteilt. Als Kenngroßen können hierfür die Anzahl der zusätzlichen Prüfungen oder Wiederholungsprüfungen mit der Anzahl durchgeführter Kontrollprüfungen in ein Verhältnis gesetzt werden. Je weniger zusätzliche Prüfungen oder Wiederholungsprüfungen durchgeführt werden, desto qualitätsfähiger ist der Prüfprozess der Qualitätskontrolle.

Die Qualitätskennzahl „zeitbezogene Fehleranzahl“ enthält die Kenngroße „Prüfzeit“ und die absolute Fehleranzahl aller Prozesselemente. Die Prüfzeit wird definiert als die Zeitdauer, die zwischen einer Probenahme und der Aushändigung des Prüfberichts von der Prüfstelle an den Kunden (Auftraggeber) liegt. Mit dieser Kennzahl kann aufgezeigt werden, dass sich die Prüfdauer mit Zunahme von Fehlern im Prozess verlängert. Falls mit zunehmender Prüfdauer keine Fehler festzustellen sind, sind die qualitätssichernden Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu hinterfragen. Dies setzt jedoch voraus, dass die Fehler nicht selbst in

der Prüfstelle auftreten, sondern die Prüfstelle effizient organisiert ist. Insofern kann die Qualitätskennzahl „Zeitbezogene Fehleranzahl“ auch ein Maß für die Beurteilung der Kundenzufriedenheit werden.

Die absoluten Fehlerzahlen können bei Durchführung der Prüfprozesse bei Ablauf der Prozesselemente „Auftragsannahme“, „Probenahme“, „Probenversand“ und „Prüfbericht“ dokumentiert werden. Mit diesen absoluten Kennzahlen besteht die Möglichkeit die Auftretenshäufigkeit von potentiellen Fehlerursachen neu zu bewerten und einen verbesserten Zustand der Prüfprozesse in der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) nach **Anlage 3** dieser Arbeit zu ermitteln.

Die nicht-monetären Qualitätskennzahlen der Tabelle 8-1 können mit Ermittlung von Prüfkosten auch in teil-monetäre Qualitätskennzahlen überführt werden. Die Anzahl der Fehler können im Verhältnis zu den Prüfkosten angegeben werden.

8.3 Verbesserter Zustand der Qualitätskontrolle

Das entwickelte Probenahmenkonzept fordert zusätzlich qualitätssichernde Maßnahmen, die bauprozessbegleitend durchgeführt werden müssen. Die Umsetzung festgelegter qualitätssichernder Maßnahmen, die in Teilabnahmen zwischen den Prozessbeteiligten dokumentiert werden können, stellen sicher, dass die Qualität der fertigen Leistung richtig beurteilt wird und Wiederholungsprüfungen vermieden werden können. Der Prüfprozess der Qualitätskontrolle kann somit als integrierter Unterstützungsprozess des Herstellprozesses „Asphaltstraße“ angesehen werden.

Ein Ersatz der manuellen Probenahme durch das Bohrkernverfahren führt dazu, dass kritische Prozessschritte infolge grober Fehler bei Durchführung der Probenahme vermieden werden können. Werden die Ergebnisse aus der Bewertung der konzeptionellen Möglichkeiten zur Durchführung der Qualitätskontrolle (s.a. Kapitel 6.5.4) angewendet, können die Prozessschritte der Prozesselemente „Probenahme“ und „Prüfbericht“ mit den höchsten Risikoprioritätskennzahlen durch Prozesselemente mit geringerem Fehlerrisiko ersetzt werden. Die Anwendung des Bohrkernverfahrens zur Bestimmung der Asphalteigenschaften an wiedererwärmten Bohrkernen ist in der Praxis erprobt, dennoch ist unter Beweis zu stellen, dass es auch in seiner täglichen Anwendung prozesssicher durchzuführen ist. Eine Bewertung potentieller Fehler und Fehlerursachen muss daher aus einer

neuen Erfahrungssammlung erfolgen, um den verbesserten Zustand betreffender Prozessmerkmale bewerten zu können.

Die Anwendung qualitätssichernder Maßnahmen kann einfache Fehler in den aufgezeigten Prozesselementen vermeiden. Die festgelegten Maßnahmen beeinflussen in den Prozessen „Kontrollprüfung“ und „Schiedsuntersuchung“ jedes einzelne Prozessmerkmal, wobei der Schwerpunkt der Maßnahmen sich jeweils auf die drei Prozessmerkmale mit den höchsten Einzelbewertungszahlen richtet.

Ein verbesserter Zustand der Qualitätskontrolle stellt sich dadurch ein, dass die im Prüfplan umgesetzten Maßnahmen die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Fehlerursachen reduzieren können und die Entdeckungswahrscheinlichkeiten von Fehlern erhöht werden.

Die Anwendung des entwickelten Prüfplans an zukünftig auszuführenden Baumaßnahmen kann Aufschluss darüber geben, ob sich ein verbesserter Zustand der Prozessqualität einstellt oder weitere Ansatzpunkte für einen Optimierungsbedarf gefunden werden können.

9 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

9.1 Folgerungen für die Durchführung von Qualitätskontrollen

Die Durchführung und der Umfang von Qualitätskontrollen sind im Technischen Regelwerk festgelegt. Dennoch ist bei der Ausführung von Prüfprozessen eine Vielzahl von Fehlern festzustellen, die in der täglichen Praxis häufig zu erheblichen und in vielen Fällen unberechtigten Abzügen der Leistung führen. Insgesamt konnten aus der Expertenbefragung für die Prozesse der „Kontrollprüfung“ und „Schiedsuntersuchung“ fünfzig verschiedene Fehlerursachen ermittelt werden, die zeigen, dass die Qualitätsfähigkeit der Prüfprozesse nicht allgemeingültig vorausgesetzt werden kann. Es treten insbesondere in den Prozessmerkmalen „Probenahme“ und „Probenversand“ im Prozessablauf einer Kontrollprüfung Fehler auf, die Grundlage für Folgefehler von Schiedsuntersuchungen sein können. Dies deutet darauf hin, dass der eigentliche Zweck von Schiedsuntersuchungen, nämlich angezweifelte Prüfergebnisse von Kontrollprüfungen mit den Ergebnissen aus repräsentativen Proben zu ersetzen, in vielen Fällen nicht erreicht werden kann. Als einen möglichen Weg zur Fehlervermeidung besteht die Aussicht bei Wiederholungsprüfungen nicht auf Rückstellproben, sondern auf Bohrkernproben, die aus der Asphaltbefestigung zu entnehmen sind, zurückzugreifen. Dies kann in der Praxis wiederum zu neuen Fehlern führen, wenn die Grenzwerte und Toleranzen des Regelwerks, die sich bei den Mischgutprüfungen auf die Prüfergebnisse an noch nicht eingebautem Asphaltmischgut zum Anlieferungszeitpunkt beziehen, für Prüfergebnisse an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen angewendet werden. Bei der Beurteilung von Prüfmerkmalen an Asphaltmischgut wiedererwärmter Bohrkern muss der Einfluss aus Einbau, Walzverdichtung und Probenahme auf das Prüfergebnis beachtet werden.

Im eigens durchgeführten Forschungsprojekt „Kontrollprüfungen mit Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen“ wurde diese Problematik aufgegriffen und systematische Versuche an Untersuchungsstrecken durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes fließen in die vorliegende Arbeit ein und werden statistisch ausgewertet. Aus den durchgeführten Mittelwertvergleichen untersuchter Prüfmerkmale und den Ergebnissen aus Laborsimulationen kann geschlossen werden, dass Prüfergebnisse an Asphaltmischgut wiedererwärmter Bohrkern unter Berücksichtigung von Korrekturfaktoren hinsichtlich der Zusammensetzung bewertbar sind. Die nachfolgend genannten Korrekturfaktoren lassen sich aus den quantifizierten Abweichungen, infolge der Einflüsse aus Einbau, Walzverdichtung

und Bohrkernprobenahme auf das Prüfgut ableiten:

- Splitt-/Sand-/Füllergehalt folgender Asphalte (-3,0/+2,0/+1,0 M.-%)
 - Asphalttragschicht 0/32 CS
 - Asphaltbinder 0/16 S , 0/22 S
 - Splittmastixasphalt 0/11 S
 - Asphaltbeton 0/11 S
- Grobkornanteil
 - Asphalttragschicht 0/32 CS (-40,0 M.-% relativ)
 - Asphaltbinder 0/22 S (-28,0 M.-% relativ)
 - Asphaltbinder 0/16 S (-10,0 M.-% relativ)
 - Splittmastixasphalt 0/11 S (-18,0 M.-% relativ)
 - Asphaltbeton 0/11 S (-13,0 M.-% relativ)

Die vorgeschlagenen Korrekturfaktoren werden für den Splitt-, Sand- und Füllergehalt in absoluten Werten angegeben. Für die Grobkornanteile hingegen werden nicht die absoluten Werte, sondern die aus den Untersuchungen resultierenden relativen Abweichungen, bezogen auf den Grobkornanteil der Sollwerte, formuliert. Mit dieser Vorgehensweise wird beachtet, dass mit zunehmendem Grobkornanteil innerhalb einer Mischgutsorte der Anteil an Kornverfeinerungen tendenziell ansteigt.

Eine Übertragbarkeit der formulierten Korrekturfaktoren auf weitere, in dieser Arbeit nicht bewertete Mischgutsorten, muss im Einzelfall überprüft werden. Weitere Merkmale (z.B. Gesteinsart, Kornform) haben Einfluss und können sich auf die Prüfergebnisse auswirken. Sind in Kontrollprüfungen bestimmte Massenanteile für Kornklassen oder Kornanteile nachzuweisen, sind die Veränderungen der einzelnen Kornklassen insbesondere bei der Zugabe von Ergänzungskörnungen (z.B. Aufhellungssplitt) im Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen zu beachten. Ferner sind Anteile an Abstreusplitt, die in Deckschichten eingebunden sind, bei bekannter Sieblinie und Aufstreumenge anteilig zu errechnen, um diesen Einfluss bewerten zu können.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die Bestimmung von Mischguteigenschaften an Asphaltmischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen unter Anwendung des Bohrkernverfahrens durchführbar ist und wesentlich dazu

beitragen kann, die Prozessschritte der Qualitätskontrolle zu optimieren. Wesentliche Qualitätsdefizite der bestehenden Qualitätskontrolle können im Prozessablauf der Prozesselemente:

- Probenahme,
- Probenversand,
- und Prüfbericht

mit der Anwendung des neuen Probenahmenkonzepts minimiert werden. Die Anwendung des Prüfplans ermöglicht, dass die Prüfprozesse der Qualitätskontrolle prozesssicher zum Erreichen einer einwandfreien Beurteilung der Produktqualität gelenkt und geleitet werden.

Wenn Baustoffe zum Einsatz kommen, die zum Zeitpunkt der Abnahme auch in den Kontrollprüfungsergebnissen an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen auf keine Mängel im Endprodukt hinweisen, sind mit Anwendung des Bohrkernverfahrens die Voraussetzungen gegeben, innerhalb einer Verjährungsfrist für Mängelansprüche erneute Probenahmen zur Gewinnung vergleichbarer Teilproben durchzuführen. Es können während der Nutzungsdauer einer Asphaltstraße Mängel und mögliche Ursachen einwandfrei beurteilt werden, wenn Kontrollprüfungen grundsätzlich an Bohrkernen durchgeführt werden. Dies kann zu einer besseren Rechtssicherheit innerhalb der Verjährungsfrist beitragen und letztlich auch durch die richtige Auswahl durchzuführender Mängelbehebungen maßgeblich Qualitätskosten senken.

Die Prüfstelle, als Kompetenzpartner aller Prozessbeteiligten, nimmt in der Qualitätskontrolle eine zentrale Position ein und kann bereits mit der Auftragsannahme einer Prüfleistung die Grundlagen für eine effektive Qualitätsbeurteilung des Produktes legen. Die Prüfstelle lenkt bauprozessbegleitend den Prüfprozess und stellt sicher, dass alle im Prüfplan festgelegten Anforderungen beachtet und erfüllt werden. Als Beauftragte zur Durchführung von Kontrollprüfungen besitzt die Prüfstelle die Kompetenz die Probenahme durchzuführen und das Prüfgut identifizierbar und rückverfolgbar im Laboratorium zu analysieren. Die Anwendung eines projektspezifischen Prüfplans legt die Grundlage, dass Kontrollprüfungen nicht ausschließlich standardisiert zur Erfüllung von spezifizierten Qualitätsanforderungen ausgeführt werden, sondern auch Qualitätsmerkmale und projektspezifische Randbedingungen, die Einfluss auf das Ergebnis von Kontrollprüfungen haben können, erfasst werden. So können an Mischgutproben auch Abweichungen einer Sollzusammensetzung bewertet werden,

die nicht auf die Qualität des gelieferten Mischgutes zurückzuführen sind. Eine Bewertung der Prüfergebnisse mit Betrachtung der Randbedingungen einer Probenahme ist letztlich entscheidend für die Abnahme, Abrechnung und Gewährleistung der Baumaßnahme. Der entwickelte Prüfplan schafft die Voraussetzungen, dass folgende formulierte Kundenanforderungen an die Prozesse der Qualitätskontrolle zur Erhöhung der Kundenzufriedenheit erfüllt werden können:

- Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge,
- Zutreffende Ergebnisse,
- Weiterführende Bewertung der Ergebnisse,
- Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen,
- Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte.

Mit Umsetzung des Prüfplans werden ferner auch die Schnittstellen zwischen allen Prozessbeteiligten definiert. Eine klare Trennung der Tätigkeiten und Kompetenzen sowie festgelegte Abläufe in den auszuführenden Prüfprozessen, wie

- Erstprüfungen und Eignungsnachweise,
- Eigenüberwachungsprüfungen
- sowie Kontrollprüfungen

fördert die vertrauensvolle Zusammenarbeit aller Beteiligten.

9.2 Handlungsempfehlungen zur Durchführung der Qualitätskontrolle

9.2.1 Beurteilung von Prüfergebnissen an Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne

Die Bestimmung von Mischguteigenschaften an Asphaltmischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen unter Verwendung des Bohrkernverfahrens zur Gewinnung von Durchschnittsproben mit Umsetzung des entwickelten Probenahmekonzepts sollte grundsätzlich Anwendung finden. Damit eine bauvertragliche Umsetzung möglich wird, müssen Prüfergebnisse an

Asphaltmischgut wiedererwärmter Bohrkerne mit Anforderungswerten des Regelwerks bewertbar sein. Hierzu wird empfohlen, die Toleranzen zur Bewertung der Konformität des angelieferten Mischguts für bestehende Anforderungen anzuwenden und diese mit den Korrekturfaktoren, ermittelt aus den zusätzlichen Abweichungen der Probenahme, zu ergänzen. Die Toleranzen zur Beurteilung der Konformität gelten für die Produktion und Lieferung des Asphaltmischguts und können dem Anhang A der DIN EN 13108-21 [2006] entnommen werden. Die Tabelle 9-1 enthält in Anlehnung an die DIN EN 13108-21 [2006] die Toleranzen, die auf die jeweiligen Sollwerte der Mischgutzusammensetzung zutreffender Erstprüfungen anzuwenden sind.

| Zeile | Siebdurchgang | Einzelproben Toleranz der Sollzusammensetzung | |
|-------|-----------------------------|--|---------------------------------|
| | | Kleinkörniges Asphaltmischgut | Großkörniges Asphaltmischgut |
| 1 | Charakteristisches Grobsieb | ± 7 | ± 9 |
| 2 | 2 mm | ± 6 | ± 7 |
| 3 | 0,063 mm | ± 2 | ± 3 |

Tabelle 9-1: Toleranzen der Sollzusammensetzung in absoluten Prozentwerten zur Beurteilung der Konformität von Asphaltmischgut in Anlehnung an DIN EN 13108 – 21 [2006]

Die Toleranzen für das charakteristische Grobsieb werden für die untersuchten Prüfmerkmale „Grobkornanteil“ und „Splittgehalt“ herangezogen. Die Siebdurchgänge „2 mm“ und „0,063 mm“ charakterisieren die Prüfmerkmale „Sandgehalt“ und „Füllergehalt“ und werden mit den festgelegten Toleranzen aus Produktion und Lieferung angenommen. Die Mischgutarten für Asphaltdeckschichten aus Walzasphalt werden hierbei als „Kleinkörniges Asphaltmischgut“ und die Mischgutarten für Asphaltbinder- und Asphalttragschichten als „Großkörniges Asphaltmischgut“ bezeichnet.

Eine Ergänzung der Toleranzen nach Tabelle 9-1 mit den vorgeschlagenen Korrekturfaktoren als zusätzliche Toleranzen aus der Probenahme an der

Einbaustelle (s.a. Kapitel 9.1) ermöglicht nun Gesamttoleranzen zu definieren, die Streuungen aus Produktion, Lieferung, Einbau, Walzverdichtung, Probenahme und Prüfung enthalten. Es werden daher die Gesamttoleranzen für Einzelproben nach Tabelle 9-2 zur Beurteilung der Mischguteigenschaften an wiedererwärmten Bohrkernen empfohlen.

| Prüfmerkmale | Kleinkörniges Asphaltmischgut | | Großkörniges Asphaltmischgut | | |
|-----------------------|--|---------------------|---|----------------------|---------------------------------|
| | Splittmastix- asphalt | Asphaltbeton | Asphaltbinder | Asphaltbinder | Asphalt- tragschicht |
| Größtkorn [mm] | 11 | 11 | 16 | 22 | 32 |
| Füllergehalt [M.-%] | +3 / -2 | | +4 / -3 | | |
| Sandgehalt [M.-%] | +8 / -6 | | +9 / -7 | | |
| Splittgehalt [M.-%] | +7 / -10 | | +9 / -12 | | |
| Grobkornanteil [M.-%] | +7 / -7 (-18*) | +7 / -7 (-13*) | +9 / -9 (-10*) | +9 / -9 (-28*) | +9 / -9 (-40*) |

* vom Zahlenwert des Ergebnisses nach Berücksichtigung der Toleranz aus der Konformitätsbeurteilung

Tabelle 9-2: Gesamttoleranzen in Prozentwerten zur Beurteilung der Zusammensetzung von Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen

Bei der Beurteilung des Grobkornanteils ist der relative Toleranzanteil aus der Bohrkernprobenahme erst nach Berücksichtigung des absoluten Toleranzanteils aus der Produktion und Lieferung, auf den Zahlenwert des Ergebnisses zu beziehen. Hierdurch wird gewährleistet, dass der relative Toleranzanteil der Probenahme des Prüfmerkmals „Grobkornanteil“ sich in allen Fällen auf das Asphaltmischgut zum Anlieferungszeitpunkt bezieht und nicht auf die Sollzusammensetzung der Mischgutkonzeption.

Für die weiteren Prüfmerkmale zur Bestimmung der Mischguteigenschaften an

Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne können die Toleranzen des Regelwerks angewendet werden. Zusätzliche Toleranzen aus Einbau, Walzverdichtung und Bohrkernprobenahme bleiben ausschließlich auf das Prüfmerkmal „Korngrößenverteilung“ beschränkt.

9.2.2 Prüfstrategie unter bauvertraglichen Aspekten

Verträge mit geteilter Verantwortung

Werden Bauprojekte öffentlich ausgeschrieben, werden die im Technischen Regelwerk festgelegten Prüfprozesse der Qualitätssicherung vereinbart. Das System basiert auf einer geteilten Verantwortung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Die Verantwortung für die Eignung der einzusetzenden Baustoffe und der Eigenüberwachung obliegt bei Herstellung dem Auftragnehmer, die Durchführung der Kontrollprüfung dem Auftraggeber. Die Durchführung der Kontrollprüfung des Auftraggebers ist so festgelegt, dass der Auftragnehmer für die sachgemäße Probenahme mitverantwortlich ist. Das System setzt die Erfahrung und Fachkompetenz auf beiden Vertragsseiten voraus (s.a. Kapitel 4.2.1), denn letztlich wird mit der Prüfung der Baustoffe und deren Zusammensetzung die Gebrauchstauglichkeit des Produktes „Asphaltstraße“ beurteilt. Die rigorose Anwendung spezifizierter Qualitätsforderungen des Technischen Regelwerkes ist nicht in allen Fällen mit dem aktuellen Stand der Kenntnis verbunden. Daher sollte in Prüfprozessen grundsätzlich die Fachkompetenz von Prüfstellen genutzt werden.

Mit Umsetzung des entwickelten Prüfplans wird die Kontrollprüfung als Abnahmeprüfung nicht am Zwischenprodukt, sondern am Endprodukt durchgeführt. Die Kontrollprüfung greift daher nicht mit Durchführung von Probenahmen in die Schnittstelle zwischen Mischgutanlieferung und Einbau des gelieferten Mischguts ein. Die Verantwortung für die Mischgutzusammensetzung und der Ausführungsqualität der „Asphaltstraße“ bleiben in der Verantwortung des bauausführenden Unternehmens. Für die Qualitätssicherung muss das bauausführende Unternehmen eigene Prüfprozesse der Wareneingangskontrolle und Eigenüberwachungen planen und lenken, die nicht zwangsläufig mit der Kontrollprüfung als Abnahmeprüfung verknüpft sind. In der Schnittstelle der Probenahme aller Prozessbeteiligten wird mit Umsetzung des Prüfplans ein möglicher Interessenskonflikt, der infolge unsachgemäßer Probenahme Einfluss auf die Beurteilung der fertigen Leistung nehmen kann, vermieden. Die

Prozessbeteiligten bleiben mitverantwortlich für die Probenahme, jedoch wird die Durchführung der Probenahme der Prüfstelle übertragen. Die zeitnah vorliegenden Prüfergebnisse der Kontrollprüfungen können dennoch im Bedarfsfall von den bauausführenden Unternehmen herangezogen werden, um die Konformität des angelieferten Mischguts beurteilen zu können. Die Grundlagen zur Beurteilung von Prüfergebnissen an Mischgut wiedererwärmter Bohrkerne sind mit der vorliegenden Arbeit gelegt.

Anders verhält es sich mit Kleinbaustellen, für die eine Umsetzung des Prüfplans ökonomisch nicht sinnvoll ist. Die Funktionalität des entwickelten Probenahmekonzepts ist erst bei maschinell eingebauten Einbaustreifen mit einer Mindestlänge von 50 m gegeben. Bei kleinen Baustellen wird eine Durchführung der manuellen Probenahme an der Verteilerschnecke empfohlen. In dieser Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass mit diesem Verfahren repräsentative, dem Bohrkernverfahren gleichwertige Proben entnommen werden können, wenn diese nach einem Prüfplan zur Fehlervermeidung erfolgen.

Verträge mit ungeteilter Verantwortung

In Modellen, bei denen das Bauen und Betreiben des Produktes „Asphaltstraße“ in der alleinigen Verantwortung des Betreibers (Konzessionär) liegt, kann das entwickelte Probenahmekonzept ebenfalls Anwendung finden. Der Betreiber, der die technische und wirtschaftliche Verantwortung der Straße trägt, ist vertraglich verpflichtet die Straße nach einem festgelegten Zeitpunkt in einem definierten Zustand an die Straßenbauverwaltung zu übergeben. Mit dem Probenahmekonzept erhält der Betreiber ein Instrument, mit dem der Ist-Zustand des fertigen Bauwerks zu allen Zeitpunkten der Nutzung geprüft und auf Basis des Fertigstellungszeitpunktes des Bauwerks beurteilt werden kann. In der Phase der Unterhaltung der Straße kann der Betreiber über bautechnische Prüfungen das Verhalten der Baustoffe messen und daraus die erreichte Qualität der Straße ableiten, sowie im Bedarfsfall notwendige Erhaltungsmaßnahmen prognostizieren. Die eigentliche Qualitätskontrolle beschränkt sich in Betreibermodellen daher auf die Phase der Unterhaltung der Straße. Mit Anwendung des Prüfplans, der hinsichtlich seiner Durchführung auf die Randbedingungen des Betreibermodells zu modifizieren ist, wird die Prüfleistung an eine Prüfstelle übertragen.

In der Bauausführung selbst kann das Probenahmekonzept auch in der Eigenüberwachung Anwendung finden. Das Probenahmekonzept kann insoweit modifiziert werden, dass nach dem Fertigstellen jeder Asphaltsschicht eine Probenahme nach dem Probenahmekonzept erfolgt, um so vor Überbauen der nächsten Schicht, mögliche und behebbare Fehler frühzeitig zu erkennen und abstellen zu können. Diese in den Bauprozess integrierte Qualitätskontrolle kann nach eigener Risikoabschätzung des Betreibers in einem individuellen Prüfplan fixiert werden.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Qualitätsprüfungen im Asphaltstraßenbau

Die Herstellung einer Asphaltstraße entspricht einer Einzelanfertigung und kann hinsichtlich ihrer Ausführungsqualität ausschließlich objektbezogen beurteilt werden. Die eingesetzten Baustoffe und die lokalen Randbedingungen projektspezifischer Gewerke sowie die Witterung haben Einfluss auf die Fertigung einer Asphaltstraße. Die Qualitätsprüfung als solche muss sich daher auf projektspezifische Bedingungen einstellen können. In einem festgelegten Qualitätssicherungssystem bestehend aus Eignungsprüfungen (Erstprüfung und Eignungsnachweis) und Eigenüberwachungsprüfungen werden bereits in einem frühen Projektstatus qualitätsplanende und -lenkende Maßnahmen unter Anwendung des Technischen Regelwerks umgesetzt. Die eigentliche Qualitätskontrolle mit Durchführung bautechnischer Prüfungen wird baubegleitend zu den Herstellprozessen in Prüfprozessen durchgeführt. Der Inhalt und der Umfang solcher Prüfungen kann in Bauverträgen über die Vereinbarung zusätzlicher technischer Vertragsbedingungen vorgeschrieben werden. Die baubegleitend durchzuführenden Eigenüberwachungsprüfungen des bauausführenden Unternehmens (Auftragnehmer) sind als qualitätslenkendes Element maßgebend für die Ausführungsqualität des Produkts.

Die Kontrollprüfung als Prüfprozess der Qualitätskontrolle ist für den Bauherrn (Auftraggeber) zur Qualitätsbeurteilung maßgebend. In diesem Verständnis einer Kontrollprüfung liegen über abgeleitete indirekte Prüfmerkmale mit Durchführung bautechnischer Materialprüfungen Nachweise vor, dass spezifizierte Qualitätsforderungen zur Gebrauchstauglichkeit, Sicherheit, Umweltverträglichkeit und Dauerhaftigkeit einer Asphaltstraße erfüllt werden. Die Tätigkeiten innerhalb der Prüfprozesse der Qualitätskontrolle

- Kontrollprüfung,
- Zusätzliche Kontrollprüfung,
- und Schiedsuntersuchung

sollten hierbei nicht ausschließlich aus Materialprüfungen bestehen, sondern es müssen zur Qualitätsfähigkeit der Prüfprozesse weitere Qualitätsmerkmale beachtet werden, die sich auf Faktoren wie Mensch, Methode, Maschine und Milieu (Umwelt) beziehen. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es deshalb, die Qualitätsfähigkeit dieser Prüfprozesse zu untersuchen, das Verbesserungspotential aufzuzeigen und

neue Konzepte zu entwickeln, die in einer Prüfplanung wirksam Anwendung finden können.

Qualitätsfähigkeit der Prüfprozesse

Ein Prüfprozess der Qualitätskontrolle kann als qualitätsfähig angesehen werden, wenn mit bestehenden Qualitätsmerkmalen hohe Erfüllungsgrade bestehender Kundenanforderungen erreicht werden können. Die Bedürfnisse der Kunden als Auftraggeber der Prüfleistung sowie die Qualitätsmerkmale, die seitens der Prüfstellen bestehen, um die Kundenanforderungen erfüllen zu können, wurden in der vorliegenden Arbeit aus Literaturstudien und Expertenbefragungen ermittelt. Aus einer verknüpften Beziehungsmatrix konnten Bedeutungsmaße der Kundenanforderungen sowie deren Erfüllungsgrade über Qualitätsmerkmale abgeleitet werden. Demnach haben die Tätigkeiten der „Probenahme“ und der „Prüfungsdurchführung“ eine große Wirkung auf die wahrgenommen Qualität des Kunden und bedürfen einer prozesssicheren Gestaltung.

In den Prüfabläufen von Prüfprozessen treten insbesondere in den Schnittstellenbereichen der Prozessbeteiligten Qualitätsdefizite in Form von Fehlern auf, die im Ergebnis des Prüfprozesses zu einer Fehlerbeurteilung der Produktqualität führen können. Diese Qualitätsdefizite sind unter Anwendung eines prozessorientierten Ansatzes, indem alle Tätigkeiten und Ressourcen innerhalb der Prüfprozesse der Qualitätskontrolle aufeinander abgestimmt werden, zu minimieren. Im Dienstleistungsverhältnis zwischen einer Prüfstelle und dem Kunden als Auftraggeber der Prüfleistung kann eine erfolgreiche Umsetzung dieses Ansatzes die Kundenzufriedenheit maßgeblich erhöhen.

Den Prozesselementen betrachteter Prüfprozesse, ausgehend von der Auftragsannahme, der Probenahme mit Probenversand bis zur Fertigstellung des Prüfberichts, wurden Fehler, Fehlerfolgen und Fehlerursachen zugeordnet. Aus einer zusammenfassenden Risikobewertung einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) lässt sich das Optimierungspotential der Prüfprozesse erkennen. Mit dieser Methodik konnten aus der Literaturstudie und Expertenbefragungen insgesamt fünfzig verschiedene Fehlerursachen in den Prüfprozessen Kontrollprüfung und Schiedsuntersuchung ermittelt und mit Kennzahlen bewertet werden. Die Kennzahlen zeigten erstrangige Anhaltspunkte für Prozessoptimierungen auf. Es wurden vorrangig die Prozessmerkmale betrachtet, auf die ein hoher Anteil des Gesamtrisikos entfällt. In den Prüfprozessen der Qualitätskontrolle sind dies Prozessmerkmale der „Probenahme“ und bei Schiedsuntersuchungen auch das

Prozessmerkmal „Beurteilung“. In Schiedsuntersuchungen ist eine einwandfreie Beurteilung von Prüfergebnissen nicht gegeben, wenn diese an fehlerhaften Proben aus vorangegangenen Prozessabläufen ermittelt werden.

Qualitätsverbesserung der Prüfprozesse

Eine wesentliche Maßnahme, die das Auftreten von Fehlern minimieren kann, ist die Anwendung eines veränderten Probenahmeverfahrens beim Asphalteinbau. Eine prozesssichere Gestaltung der Probenahme kann Auftretenswahrscheinlichkeiten potentieller Fehlerursachen reduzieren und Entdeckungswahrscheinlichkeiten von Fehlern erhöhen. Mit dem Bohrkernverfahren besteht ein automatisiertes Probenahmeverfahren, mit dem der prozessorientierte Ansatz verfolgt werden kann, um die Qualität der fertigen Leistung in Kontrollprüfungen und Schiedsuntersuchungen einwandfrei zu beurteilen und aufgezeigte Qualitätsdefizite zwischen der Prüfstelle und dem Kunden zu verringern. Das Bohrkernverfahren kann die wesentlichen Qualitätsforderungen

- Objektivität der Probenahme,
- Vergleichbarkeit von Teilproben,
- und geringe verfahrensbedingte Streuungen

erfüllen. Die Bestimmung der Asphaltmischguteigenschaften erfolgte bei diesem Verfahren im Gegensatz zu manuellen Probenahmeverfahren an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen. Die Gleichwertigkeit manueller Probenahmeverfahren und Bohrkernverfahren wurde in der vorliegenden Arbeit an den Prüfmerkmalen

- Bindemittelgehalt,
- Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK),
- Raumdichte und Hohlraumgehalt am Probekörper (MPK)

kennzeichnender Asphalte statistisch nachgewiesen. Für Prüfergebnisse, die an Proben aus wiedererwärmten Bohrkernen ermittelt werden, bedeutet dies, dass die zulässigen Grenzwerte und Toleranzen des Regelwerks, die sich bezüglich dieser Prüfmerkmale auf Prüfergebnisse am noch nicht eingebauten Asphaltmischgut zum Anlieferungszeitpunkt beziehen, Anwendung finden können. Dies trifft nicht für die Prüfmerkmale der Korngrößenverteilung zu. In Proben wiedererwärmter Bohrkern treten Kornverfeinerungen und Kornanreicherungen in der Zusammensetzung einzelner Kornklassen infolge Kornzertrümmerungen aus der

Einbau- und Walzverdichtung sowie aus der Trenn- und Schnittwirkung der Bohrkronen auf. Streuungsanteile dieser Einflüsse sind nicht in den spezifizierten Qualitätsforderungen mit den bekannten Streuungen aus Probenahme, Präzision der Prüfverfahren und arbeitsbedingten Unregelmäßigkeiten enthalten. Für bestehende Anforderungen der Korngrößenverteilung sind daher zusätzliche Toleranzen zu definieren. Diese konnten auf Grundlage eigener Forschungsergebnisse, die im Rahmen des Forschungsprojekts „Kontrollprüfungen mit Mischgut aus wiederwärmten Bohrkernen“ ermittelt wurden, formuliert werden. Der zusätzliche Einfluss konnte in Laborsimulationen für kennzeichnende Asphalte nachgewiesen werden. Hieraus wurden Handlungsempfehlungen zur Durchführung der Qualitätskontrolle mit Angabe von resultierenden Gesamttoleranzen entwickelt, die eine einwandfreie Qualitätsbeurteilung der Zusammensetzung von Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen ermöglichen. Die Voraussetzungen sind somit geschaffen, unter Anwendung des Bohrkernverfahrens in allen Prüfprozessen der Qualitätskontrolle, auf repräsentativen Probenahmen zurückzugreifen.

Das Einbinden des Probenahmeverfahrens in einen Prüfplan mit Probenahmekonzept war ein weiterer Schritt, um einen verbesserten Zustand der Qualitätskontrolle zu erreichen. Hierzu wurden qualitätssichernde Maßnahmen in einen Prüfablaufplan implementiert, die vorrangig das Ziel haben, den Informationsfluss zwischen allen Prozessbeteiligten zu fördern und die für die Produktqualitätsbeurteilung relevanten Dokumentationen zu lenken. Die auszuführenden Tätigkeiten der Prozessbeteiligten sind unter frühzeitiger Einbindung einer qualifizierten Prüfstelle festgelegt. In einem Prüfplan sind Prüfspezifikationen und Prüfanweisungen zusätzlicher Prüfungen und stichprobenartiger Kontrollen, den Fertigungsschritten des Herstellprozesses zugeordnet, definiert. Aus den Erkenntnissen eigener Forschungsergebnisse und Literaturstudien wurde ein Probenahmekonzept entwickelt, dass für die Anwendung des Bohrkernverfahrens einen Probenahmeplan mit festgelegten Zeitpunkten zur Durchführung der Probenahme vorsieht. Im Probenahmeplan sind die Lage und Anzahl der Bohrkernsowie die Größe und Menge der Proben zur Bestimmung der Prüfmerkmale definiert, um aus den zugeordneten Teilflächen einer Asphaltbefestigung repräsentative Proben gewinnen zu können.

Wirksamkeit des Prüfplans

Das entwickelte Probenahmekonzept verfolgt den Ansatz fehlerbehaftete Prozessabläufe der bestehenden Qualitätskontrolle zu vermeiden. Mit Anwendung des Bohrkernverfahrens können unter Einbeziehung aller Prozessbeteiligten,

Tätigkeiten und Ressourcen im Prüfprozess gelenkt und somit ein verbesserter Zustand der Qualitätskontrolle erreicht werden. Die Prozessmerkmale mit den höchsten Fehlerrisiken wurden optimiert und so die Voraussetzungen für eine einwandfreie Qualitätsbeurteilung der Produktqualität geschaffen. Mit Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Kontrollprüfung können letztlich Wiederholungsprüfungen vermieden und so maßgeblich Kosten der Qualitätskontrolle verringert werden. Ein verbesserter Zustand der Qualitätskontrolle erhöht gleichzeitig die Rechtssicherheit der Abnahme von bauvertraglich geforderten Leistungen.

Zur Beurteilung der Wirksamkeit qualitätssichernder Maßnahmen des Prüfplans wurden Qualitätskennzahlen definiert. Mit diesen Kennzahlen lassen sich Nutzwerte festgelegter Maßnahmen ermitteln. Die Wirksamkeit kann mit sinkenden Fehlerzahlen in den Prozessabläufen sowie mit geringeren Prüfkosten infolge nicht notwendiger Wiederholungsprüfungen an zukünftig auszuführenden Baumaßnahmen bewertet werden.

Die Gebrauchstauglichkeit des Probenahmekonzepts konnte in eigenen Untersuchungen nachgewiesen werden. Das Konzept ist bei Baumaßnahmen mit Walzasphalten funktional, zuverlässig und mit der Gewinnung von repräsentativen und brauchbaren Proben anwendbar. Es bestehen Einschränkungen für kleinere Baumaßnahmen, für die das Konzept nicht effizient ausführbar ist.

Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

An zukünftig auszuführenden Baumaßnahmen sollte der in der vorliegenden Arbeit entwickelte prozessorientierte Prüfplan in verschiedenen bauvertraglichen Konstellationen angewendet werden. Die Gebrauchstauglichkeit des Probenahmekonzepts konnte in praktischer Umsetzung erprobt werden. Zur Aufnahme in ein Technisches Regelwerk bedarf es jedoch einer weiteren Erfahrungssammlung. Mit der Ermittlung vorgeschlagener Qualitätskennzahlen in zukünftigen Projekten kann eine Neubewertung des verbesserten Zustandes der aufgestellten Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) erfolgen. Die Wirksamkeit umgesetzter qualitätssichernder Maßnahmen lassen sich auf diesem Weg bewerten. Im Sinne einer kontinuierlichen Qualitätsverbesserung können aus der Risikobewertung des verbesserten Zustandes neue Ansatzpunkte für einen Optimierungsbedarf gefunden werden.

Weitere Untersuchungen werden auch benötigt, um zulässige Abweichungen von Sollwerten zur Beurteilung der Zusammensetzung von Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen für alle in der Praxis eingesetzten Asphalte

formulieren zu können. Neue Asphaltbauweisen sowie die technologische Weiterentwicklung von

- Asphaltkonzeptionen,
- Asphaltherstellung und
- Einbau- und Verdichtungsprozessen

machen es erforderlich, die unvermeidbaren Streuungsanteile von Prüfergebnissen auf statistischer Grundlage wiederkehrend zu überprüfen.

Ein weiterer Forschungsbedarf wird bei der Qualitätsbeurteilung der Mischgutzusammensetzung an Prüfergebnissen aus Proben der Asphaltbefestigung gesehen, wenn die in der Asphaltdeckschicht eingebundenen Anteile an Abstreumaterial zur Veränderung der Sieblinie führen. Der Einfluss konnte aus den eigenen Untersuchungen als gering beurteilt werden. Ob diese Erkenntnisse auch bei Anwendung anderer Abstreutechnologien zutreffen, sollte in weiteren Untersuchungen analysiert werden.

A – 1 Literaturverzeichnis

ARAND, W.

Ein automatisiertes Probenahmeverfahren für Asphaltmischgut
in: Die Asphaltstraße, S. 10-17, 1992

BALD, J.S.,

Erhaltung von Asphaltstraßen – Technische Regelwerke und
Vertragsrelevanz, in: Straße und Autobahn, S. 425-429, Hrsg.: FGSV,
Kirschbaum Verlag, Bonn, 2004

BALD, J.S., BÖHM, S., WOLF, T.

Kontrollprüfungen mit Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen,
Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben, Fachgebiet Straßenwesen mit
Versuchsanstalt der Technischen Universität Darmstadt, 2005

BAUPG

Bauproduktengesetz zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG, in der
Fassung der Bekanntmachung vom 28.04.1998 (BGBl. I S. 812), zuletzt
geändert durch Artikel 76 der Verordnung vom 31.10.2006 (BGBl. I S. 2407),
Bonn, 2006

BGB BÜRGERLICHES GESETZBUCH

Bürgerliches Gesetzbuch, dtv Taschenbuch, Beck Verlag, 63. Auflage,
München, 2009

BRUHN, M.

Qualitätsmanagement für Dienstleistungen: Grundlagen, Konzepte,
Methoden, Berlin, 2006

BRUHN, M., GEORGI, D.

Kosten und Nutzen des Qualitätsmanagements,
Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1999

DIN 1996, BLATT 2

Prüfung bituminöser Massen für den Straßenbau und verwandte Gebiete,
Deutsches Institut für Normung e.V., in: DIN-Taschenbuch 163: Bitumen,
Asphalt: Anforderungen, Prüfungen, Beuth Verlag, Berlin, 1994

DIN 55350, TEIL 13

Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Begriffe zur Genauigkeit von
Ermittlungsverfahren und Ermittlungsergebnissen, Deutsches Institut für
Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, 1987

DIN EN 932, TEIL 6

Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen,
Definition für die Wiederholpräzision und Vergleichpräzision, Deutsches
Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, 1999

DIN EN 12697, TEIL 27

Prüfung von Heißasphalt, Teil 27: Probenahme, Deutsches Institut für
Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, 2000

DIN EN 13108, TEIL 21

Asphaltemischgut - Mischgutanforderungen - Teil 21: Werkseigene
Produktionskontrolle, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag,
Berlin, 2006

DIN EN ISO 9000

Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2000),
in: DIN-Taschenbuch 226: Qualitätsmanagement, Beuth Verlag, Berlin, 2001
(neue Fassung: DIN EN ISO 9000:2005, Beuth Verlag, Berlin, 2005)

DIN EN ISO 9001

Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2000),
in: DIN-Taschenbuch 226: Qualitätsmanagement, Beuth Verlag, Berlin, 2001
(neue Fassung: DIN EN ISO 9001:2008, Beuth Verlag, Berlin, 2008)

DIN EN ISO 9004

Qualitätsmanagementsysteme – Leitfaden zur Leistungsverbesserung
(ISO 9004:2000), in: DIN-Taschenbuch 226: Qualitätsmanagement,
Beuth Verlag, Berlin, 2001

DQQ (2001 a)

Qualitätsmanagementsysteme und internes Audit /
Qualitätsmanagementsysteme in der Anwendung – Lehrgang der Deutschen
Gesellschaft für Qualität e.V., Frankfurt am Main, 2001

DQQ – BAND 13-11 (2001 b)

FMEA – Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse,
Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V., Beuth Verlag, Berlin, 2001

DQQ – BAND 11-04 (2002)

Managementsysteme – Begriffe: Ihr Weg zu klarer Kommunikation /
Karl-Wilhelm Leonhard; Peter Naumann,
Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V., Beuth Verlag, Berlin, 2002

- ELS, H., BÖHME, K., KNACKSTEDT, J., PINDUR-NAKAMURA, A., ROOS, R., STÖCKNER, M.
Aspekte der Qualitätssicherung im Straßenbau, in: Straße und Autobahn, S.
79-84, Hrsg.: FGSV, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2003
- EULER, M.
Effizienzbewertung präventiver Qualitätsmanagementprozesse, FQS,
Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V., Beuth Verlag, Berlin, 1999
- FGSV 943 (1994)
Grundsätze zur Berücksichtigung technischer und statistischer
Gegebenheiten bei der Festlegung und bei der Überprüfung und Erfüllung
von Anforderungen in Technischen Regelwerken, FGSV-Nr. 943
FGSV Verlag, Köln, 1994
- FGSV 948 (1996 ff)
Leitfäden für das Qualitätsmanagement im Straßenbau, Teil 1 bis 7,
FGSV-Nr. 948, FGSV Verlag, Köln, 1996 ff
- GEIGER, W.
Qualitätslehre: Einführung Systematik Terminologie,
Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1998
- HALFMANN, U.
Qualitätssicherung der Baustoffe und der Bauausführung in den Bereichen
Bitumen und Asphalt für Straßen,
in: Qualitätssicherung im Straßenbau, FGSV-Kolloquium, Köln, 1984
- JUNGHÄNEL, A.
Die mechanische Probenahme am Deckenfertiger
in: Die Asphaltstraße, Heft 5, S. 18, 1988
- KAMISKE, G.F., BRAUER, J.-P.
Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des
Qualitätsmanagements, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1993
- KOCHER, H.
Marktgerechte Qualität: Eine Betrachtung für Anbieter und Abnehmer,
Haupt Verlag, Bern/Stuttgart, 1989
- KÖPPEL, G.
Schlussfolgerungen zu dem Thema
„Systematik der Qualitätssicherung in der Bundesrepublik Deutschland“,
in: Qualitätssicherung im Straßenbau, FGSV-Kolloquium, Köln, 1984

KOMMENTAR ZTV ASPHALT-STB 01

Kommentar zu den Zusätzlich Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt unter Berücksichtigung der neuen Technischen Regelwerke, Autoren: Rudi Bull-Wasser, Paul Hüning, und Franz Rode, Kirchbaum Verlag, Bonn, 2003

KREBS, J.

Bewertung konzeptioneller Möglichkeiten zur Durchführung von Kontrollprüfungen im Asphaltstraßenbau, Diplomarbeit, TU Darmstadt, 2002 (unveröffentlicht)

LEITFADEN „INTEGRIERTES MANagementsYSTEM“

Ein Leitfaden für kleine und mittlere Unternehmen, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, München, 2003

LENKER, S.

Schlussfolgerungen zu dem Thema „Qualitätssicherung durch gebrauchtsrelevante Anforderungen und Prüfverfahren“, in: Qualitätssicherung im Straßenbau, FGSV-Kolloquium, Köln, 1984

LÖFFLER, K.

Untersuchungen zur Verbesserung der Probenahme und Probeteilung sowie der Streuwerterfassung bei der Probenahme von Asphaltmischgut, Schlussbericht zum Forschungsauftrag 7.067 des Bundesministers für Verkehr, Hannover 1984

MERKBLATT ÜBER DIE STATISTISCHE AUSWERTUNG VON PRÜFERGEBNISSEN

Teil 2, Behandlung von abweichenden Messwerten (Ausreißern), FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 1978

MERKBLATT ÜBER DIE STATISTISCHE AUSWERTUNG VON PRÜFERGEBNISSEN

Teil 1, Grundlagen zur Präzision von Prüfverfahren, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2000

MERKBLATT ÜBER DIE STATISTISCHE AUSWERTUNG VON PRÜFERGEBNISSEN

Teil 2, Erkennen und Behandeln von Ausreißern, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2003

Mix, H.

Qualitätssicherung bei der Durchführung von Qualitätsprüfungen im Asphaltstraßenbau, Diplomarbeit, TU Darmstadt, 2003 (unveröffentlicht)

NAKKEL, E. (1984)

Schlussfolgerungen des Kolloquiums,
in: Qualitätssicherung im Straßenbau, FGSV-Kolloquium, Köln, 1984

NAKKEL, E. (1987)

Qualitätssicherung – Qualitätsstandards, Schlussfolgerungen des
Kolloquiums, in: Neue Qualitätsstandards im Straßenbau?, Vorträge von dem
FGSV-Kolloquium in Mannheim, Heft 4, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1987

PAULMANN, G.

Begründung der Anforderungen,
in: Neue Qualitätsstandards im Straßenbau?, Vorträge von dem FGSV-
Kolloquium in Mannheim, Heft 4, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1987

PFEIFER, T.

Die Methoden und Verfahren der Prüftechnik,
in: Hansen, W./Jansen, H.H./Kamiske, G.F.(Hrsg.): Qualitätsmanagement im
Unternehmen. Grundlagen, Methoden und Werkzeuge, Praxisbeispiele,
Loseblatt-Sammlung, Kapitel 04.14, Berlin u.a., S. 1-18., 1993

RAP STRA 04

Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und
Baustoffgemische im Straßenbau, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2004

REINBOTH, K.

Qualitätssicherung für Asphalt im Straßenbau – Ein Streifzug durch die
Entwicklung der letzten 50 Jahre – Teil 2, in: Straße und Autobahn, S. 283-290,
Hrsg.: FGSV, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2003

RENKEN, P., DRÖGE C.

Überprüfung der Toleranzen für Bindemittelgehalt und
Korngrößenverteilung gemäß ZTV Asphalt-StB und ZTV T-StB, Forschung
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 838, Bundesministerium für
Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 2002

SAATWEBER, J.

Quality Function Deployment (QFD),
in: Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement, 3. Aufl.,
München/Wien, S. 445-468, 1994

SCHMIDT, H., URBAN, R.

Anpassung der DIN 1996 an den Stand der Prüftechnik,
in: Straße und Autobahn, S. 251-260, Heft 7, 1975

SCHUSTER, F.-O.

Systematik der Qualitätssicherung in der Bundesrepublik Deutschland,
in: Qualitätssicherung im Straßenbau, FGSV-Kolloquium, Köln, 1984

SEGHEZZI, H.D. (1993)

Konzepte, Strategien und Systeme qualitätsorientierter Unternehmen,
in: Seghezzi, H.D./Hansen, J.R. (Hrsg.): Qualitätsstrategien
Carl Hanser Verlag, München; S. 1-46, 1993

SEGHEZZI, H.D. (2003)

Integriertes Qualitätsmanagement: Das St. Galler Konzept,
Carl Hanser Verlag, München, 2003

TL ASPHALT-StB 07

Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von
Verkehrsflächenbefestigungen, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2007

TL G ASPHALT-StB 01

Technische Lieferbedingungen für Asphalt im Straßenbau, Teil:
Güteüberwachung, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2001

TP ASPHALT-StB

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Loseblatt-Sammlung (Stand 2009),
mit Teil 27: Probenahme, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2007

TP D-StB

Technische Prüfvorschriften zur Bestimmung der Dicken von
Oberbauschichten im Straßenbau, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 1989

TP EBEN-BERÜHRENDE MESSUNGEN

Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf
Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührende
Messungen, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2007

TP GRIFF-StB (SKM)

Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau Teil:
Seitenkraftmessverfahren (SKM), FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2007

URBAN, R. (1984 a)

Eignung vorhandener und Entwicklung neuer Prüfverfahren,
in: Qualitätssicherung im Straßenbau, FGSV-Kolloquium, Köln, 1984

URBAN, R. (1984 b)

Beitrag zu einer Optimierung der Systeme zur Qualitätskontrolle von Asphalt unter Berücksichtigung einer angemessenen Risikoverteilung, Arbeitsgemeinschaft der Bitumen-Industrie e.V. (ARBIT), Hamburg, 1984

URBAN, R. (1996)

Von der Kontrolle zum Management, in: Straße und Autobahn, S. 383-390, Hrsg.: FGSV, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1996

VERGABE- UND VERTRAGSORDNUNG FÜR BAULEISTUNGEN (VOB)

Teil A - DIN 1960, Teil B - DIN 1961, Teil C - ATVen: im Auftrag des Deutschen Vergabe- und Vertragsausschusses für Bauleistungen, Hrsg.: Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin, 2006

WITTMANN, E.

Qualitätssicherung im Straßenbau,
in: Recht und Technik, Zusammenarbeit zwischen Juristen und Ingenieuren
in der Straßenbauverwaltung, Heft 14, Kirchbaum Verlag, Bonn, 1997

ZÖFEL, P.

Statistik verstehen, Addison-Wesley Verlag, 2002

ZTV ASPHALT-STB 01

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2001

ZTV ASPHALT-STB 07

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt,
FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2007

ZTV LW 99/01

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Befestigung ländlicher Wege, FGSV Verlag, Köln, 1999/Fassung 2001 mit Änderungen und Ergänzungen, Ausgabe 2007

ZTV T-StB 95

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 1995/2002

A – 2 Verzeichnis der Abbildungen

| | | |
|----------------|--|----|
| Abbildung 2.1: | Kosten und Beeinflussbarkeit der Qualität..... | 4 |
| Abbildung 3.1: | Methodische Vorgehensweise der Arbeit..... | 6 |
| Abbildung 4.1: | Beurteilung der Qualität in Anlehnung an SEGHEZZI und HANSEN [SEGHEZZI, 1993]..... | 12 |
| Abbildung 4.2: | Operative Aufgaben des Qualitätsmanagements im PDAC-Qualitätskreis [SEGHEZZI, 2003]..... | 16 |
| Abbildung 4.3: | Prozessmodell in Anlehnung an DIN EN ISO 9000 [Beuth, 2001] ... | 18 |
| Abbildung 4.4: | Stufen des Prozessmanagements in Anlehnung an den Leitfaden „Integriertes Management“ [2003]..... | 19 |
| Abbildung 4.5: | Werkzeuge des Qualitätscontrollings in Anlehnung an SEGHEZZI [2003]..... | 20 |
| Abbildung 4.6: | Pareto-Diagramm [KAMISKE, BRAUER, 1993] | 24 |
| Abbildung 4.7: | Fünf Schritte einer FMEA in Anlehnung an DGQ [2001 b]..... | 25 |
| Abbildung 4.8: | Konzept des Quality Function Deployment (QFD) [SAATWEBER, 1994] | 28 |
| Abbildung 4.9: | Vereinfachtes Schema des Qualitätssicherungssystems nach Technischem Regelwerk | 38 |
| Abbildung 5.1: | Prozess „Herstellen einer Asphaltstraße“ in der Bauausführung.... | 46 |
| Abbildung 5.2: | Qualitätsprüfungen im Regelkreis der Qualitätssicherung | 49 |
| Abbildung 5.3: | Sichtweisen der Qualität im Regelkreis der Qualitätskontrolle in Anlehnung an SEGHEZZI und HANSEN [SEGHEZZI, 1993]..... | 52 |
| Abbildung 5.4: | Prozentuale Häufigkeiten der Kundenanforderungen..... | 56 |
| Abbildung 5.5: | Relative Erfüllungsgrade der Kundenanforderungen durch Qualitätsmerkmale | 59 |

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Abbildung 5.6: | Prozesselemente der Kontrollprüfung | 61 |
| Abbildung 5.7: | Ablaufschema für die Probenahme und Prüfung von Asphaltmischgut nach DIN 1996, Blatt 1 [Beuth, 1994] | 64 |
| Abbildung 5.8: | Art und Umfang von Kontrollprüfungen nach ZTV Asphalt [FGSV, 2007] | 66 |
| Abbildung 5.9: | Merkmalsstruktur der Kontrollprüfung | 68 |
| Abbildung 5.10: | Gewichtete Risikoprioritätskennzahlen aller Prozessmerkmale..... der Kontrollprüfung im Pareto-Diagramm mit Summenkurve..... | 78 |
| Abbildung 5.11: | Gewichtete Risikoprioritätskennzahlen aller Prozessmerkmale der Schiedsuntersuchung im Pareto-Diagramm mit Summenkurve..... | 79 |
| Abbildung 6.1: | Auszug des Versuchsprogramms nach durchgeführtem Forschungsprojekt..... | 81 |
| Abbildung 6.2: | Probenahmeverfahren von Asphaltmischgut aus Walzasphalt in Anlehnung an KREBS [2002] | 83 |
| Abbildung 6.3: | Probeteilung von Asphaltmischgut (ABi 0/22 S) aus dem Verteilerkübel gemäß DIN 1996, Blatt 2 [Beuth, 1994]..... | 90 |
| Abbildung 6.4: | Probenahme von Asphaltmischgut (SMA 0/11 S) gemäß DIN EN 12697-27 [2000]..... | 90 |
| Abbildung 6.5: | Anordnung von Entnahmeprofile nach BALD, BÖHM und WOLF [2005] zur Durchführung der Probenahmen (schematische Darstellung) | 98 |
| Abbildung 6.6: | Einbaufehlstelle einer Asphaltbinderschicht..... | 100 |
| Abbildung 7.1: | Probenahmeplan der Qualitätskontrolle zur Bohrkernentnahme..... | 117 |

A – 3 Verzeichnis der Tabellen

| | |
|--------------|---|
| Tabelle 4-1: | Prüfmerkmale der Fertigungsschritte Transport, Einbau, Walzverdichtung und Kontrollprüfung [BALD, BÖHM, WOLF, 2005] 42 |
| Tabelle 5-1: | Bewertungszahlen für die Bedeutung der Fehlerfolge 72 |
| Tabelle 5-2: | Bewertungszahlen für die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache 73 |
| Tabelle 5-3: | Bewertungszahlen für die Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache in Anlehnung an DGQ [2001 b] 74 |
| Tabelle 5-4: | Prozessschritte mit den höchsten Risikoprioritätskennzahlen 77 |
| Tabelle 6-1: | Grunddaten ausgewählter Untersuchungsstrecken des Forschungsprojekts [BALD, BÖHM, WOLF, 2005] 88 |
| Tabelle 6-2: | Einflussmerkmale auf das Ergebnis der Kontrollprüfung [BALD, BÖHM, WOLF, 2005] 102 |
| Tabelle 6-3: | Ermittlung von Differenzen der Forschungsergebnisse untersuchter Prüfmerkmale im Vergleich der Proben..... „Mischgut“ und „WSV-BK“ 104 |
| Tabelle 6-4: | Bewertung der Unterschiedlichkeit der Probenahmeverfahren „BKD“ und „VER“ hinsichtlich der Prüfmerkmale der Korngrößenverteilung..... 106 |
| Tabelle 7-1: | Qualitätssichernde Maßnahmen und deren Nutzen für die Prozesse der Qualitätskontrolle..... 109 |
| Tabelle 7-2: | Tätigkeiten und Informationsaustausch der Beteiligten im Prüfablauf der Qualitätskontrolle 112 |
| Tabelle 7-3: | Prüfplan zusätzlicher Prüfungen und stichprobenartiger Kontrollen der Kontrollprüfung..... 114 |

| | |
|--------------|---|
| Tabelle 8-1: | Nicht-monetäre Qualitätskennzahlen zur Beurteilung der Prüfprozesse 124 |
| Tabelle 9-1: | Toleranzen der Sollzusammensetzung in absoluten Prozentwerten zur Beurteilung der Konformität von Asphaltmischgut in Anlehnung an DIN EN 13108 – 21 [2006]..... 131 |
| Tabelle 9-2: | Gesamttoleranzen in Prozentwerten zur Beurteilung der Zusammensetzung von Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen..... 132 |

A – 4 Verzeichnis der wichtigsten Abkürzungen

| | |
|----------|---|
| A | Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache |
| AB | Asphaltbeton |
| ABi | Asphaltbinder |
| AG | Auftraggeber |
| AN | Auftragnehmer |
| ATS | Asphalttragschicht |
| ATV | Allgemeine Technische Vertragsbedingungen |
| B | Bedeutung der Fehlerfolge |
| b | Einbaubreite |
| BauPG | Bauproduktengesetz |
| BGB | Bürgerliches Gesetzbuch |
| „BKD“ | Bohrkernentnahme einer Durchschnittsprobe |
| „BKE“ | Bohrkernentnahme bestehend aus zwei Einzelproben |
| BPR | Bauproduktenrichtlinie |
| BVB | Besondere Vertragsbedingungen |
| bzw. | beziehungsweise |
| CE | Conformité Européenne |
| d | Spannweite |
| DGQ | Deutsche Gesellschaft für Qualität |
| „DIN“ | Manuelle Probenahme aus dem Verteilerkübel |
| DIN 1996 | Deutsches Institut für Normung e. V., Norm 1996 |
| E | Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache |
| EN | Europäische Normen |
| EP | Eignungsprüfung |
| EP RuK | Erweichungspunkt Ring und Kugel |
| et al. | und andere |
| FGSV | Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen |

| | |
|----------|---|
| FMEA | Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse |
| ggf. | gegebenenfalls |
| ISO | Internationale Organisation für Normung |
| KP | Kontrollprüfung |
| L | Lieferant |
| LB | Leistungsbeschreibung |
| MPK | Marshallprobekörper |
| n | Anzahl/Umfang der Stichprobe |
| P | Prüfstelle |
| PmB | Polymermodifiziertes Bitumen |
| PN | Probenahmeverfahren |
| QFD | Quality Function Deployment |
| RAP Stra | Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen im Straßenbau |
| RPZ | Risikoprioritätskennzahl |
| s | Standardabweichung |
| s.a. | siehe auch |
| SMA | Splittmastixasphalt |
| SU | Schiedsuntersuchung |
| TL | Technische Lieferbedingungen |
| TP | Technische Prüfvorschriften |
| „VER“ | Manuelle Probenahme an der Verteilerschnecke |
| VOB | Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen |
| WPK | Werkseigene Produktionskontrolle |
| WSV-BK | Walzsektorverdichtete Bohrkernproben |
| ZTV | Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen |
| ZVB | Zusätzliche Vertragsbedingungen |

A -5 Verzeichnis der Anlagen

| | |
|------------|--|
| Anlage 1-1 | Gesprächsleitfaden Expertenbefragung „Kundenanforderungen“ |
| Anlage 1-2 | Auswertung Expertenbefragung „Kundenanforderungen“ |
| Anlage 1-3 | Bestimmung der Bedeutung von Qualitätsmerkmalen |
| Anlage 2-1 | Gesprächsleitfaden Expertenbefragung „FMEA“ und „Probenahme“ |
| Anlage 2-2 | Absolute Häufigkeiten von Fehlerursachen bei Kontrollprüfungen |
| Anlage 2-3 | Absolute Häufigkeiten von Fehlerursachen bei Schiedsuntersuchungen |
| Anlage 3-1 | FMEA-Prozess: Kontrollprüfung/Schiedsuntersuchung – Prozesselement „Auftragsannahme“ |
| Anlage 3-2 | FMEA – Prozess: Kontrollprüfung – Prozesselement „Probenahme“ |
| Anlage 3-3 | FMEA – Prozess: Kontrollprüfung – Prozesselement „Probenahme“ |
| Anlage 3-4 | FMEA – Prozess: Kontrollprüfung – Prozesselement „Probenahme“ |
| Anlage 3-5 | FMEA – Prozess: Kontrollprüfung – Prozesselement „Probenversand“ |
| Anlage 3-6 | FMEA – Prozess: Kontrollprüfung – Prozesselement „Prüfbericht“ |
| Anlage 3-7 | FMEA – Prozess: Schiedsuntersuchung – Prozesselement „Probenahme“ |
| Anlage 3-8 | FMEA – Prozess: Schiedsuntersuchung – Prozesselement „Probenahme“ |
| Anlage 3-9 | FMEA – Prozess: Schiedsuntersuchung – Prozesselement „Beurteilung“ |
| Anlage 4-1 | Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale an Proben aus Untersuchungsstrecken verschiedener Probenahmeverfahren (PN) |
| Anlage 4-2 | Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale an Proben aus Untersuchungsstrecken verschiedener Probenahmeverfahren (PN) |
| Anlage 4-3 | Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale an Proben aus Untersuchungsstrecken verschiedener Probenahmeverfahren (PN) |

| | |
|------------|--|
| Anlage 4-4 | Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale an Proben aus Untersuchungsstrecken verschiedener Probenahmeverfahren (PN) |
| Anlage 5-1 | Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale - Mittelwertvergleich manueller Probenahmeverfahren „DIN/VER“ |
| Anlage 5-2 | Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale - Mittelwertvergleich der Bohrkern-Probenahmeverfahren „BKE/BKD“ |
| Anlage 5-3 | Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale - Mittelwertvergleich der Probenahmeverfahren „BKD/VER“ |
| Anlage 6 | Prüffehler und kritische Spannweite zusätzlicher Laborergebnisse unter Wiederholbedingungen in Anlehnung an BALD, BÖHM, WOLF, [2005] |

Gesprächsleitfaden für Expertenbefragung „Kundenanforderungen“

Datum:

Name:

Funktion:

- Einleitung
 - Ziel der eigenen Arbeit
 - Untersuchungen bei Kontrollprüfungen
 - Qualitätsverbesserung bestehender Prüfprozesse
- 1. Teil: offene Fragen
 - a) Stellen sie sich die Auftragsvergabe von Kontrollprüfungen vor. Was sind ihre Kriterien für die Auswahl einer Prüfstelle?
 - b) Welche weiteren Wünsche haben sie an die Leistung einer Prüfstelle?
 - c) Was denken sie über Schiedsuntersuchungen und Zusätzliche Kontrollprüfungen?
- 2. Teil: Skalafrage (diesen Teil an den Befragten aushändigen)

Was muss eine Prüfstelle, die Asphaltprüfungen durchführt aus Ihrer Sicht erfüllen? Bitte bewerten sie folgende Aussagen in einer Bewertungsskala von 1 bis 5.

trifft nicht zu

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

 trifft voll zu

- a) Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge
- b) Angemessenheit der Dienstleistung
- c) Zutreffende Ergebnisse
- d) Weiterführende Bewertung der Ergebnisse
- e) Unabhängigkeit und Objektivität
- f) Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen
- g) Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte
- h) Flexibilität, Verfügbarkeit

| |
|--|
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |

| Häufigkeiten je Merkmal | Befragung Leitungsebene | | | | | Befragung Sachbearbeiterebene | | | | | Befragung gesamt | | | | |
|---|------------------------------|---|---|---|---|-------------------------------------|---|---|---|---|------------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge | | | | 3 | 5 | | | | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 5 | 11 |
| Angemessenheit der Dienstleistung | | | 4 | 3 | 1 | | 2 | 4 | 2 | | 0 | 2 | 8 | 5 | 1 |
| Zutreffende Ergebnisse | | | | 2 | 6 | | | | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 11 |
| Weiterführende Bewertung der Ergebnisse | 2 | 3 | 3 | | | 2 | 3 | 2 | 1 | | 4 | 6 | 5 | 1 | 0 |
| Unabhängigkeit und Objektivität | | | | 1 | 7 | | | | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 3 | 13 |
| Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen | | 3 | 3 | 2 | | | | 3 | 4 | 1 | 0 | 3 | 6 | 6 | 1 |
| Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte | | 3 | 3 | 2 | | | 1 | 3 | 2 | 2 | 0 | 4 | 6 | 4 | 2 |
| Flexibilität, Verfügbarkeit | | | 4 | 3 | 1 | | 1 | 2 | 4 | 1 | 0 | 1 | 6 | 7 | 2 |
| Kumulierte Häufigkeiten je Merkmal | Befragung Leitungsebene | | | | | Befragung Sachbearbeiterebene | | | | | Befragung gesamt | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 5 | 16 |
| Angemessenheit der Dienstleistung | 0 | 0 | 4 | 7 | 8 | 0 | 2 | 6 | 8 | 8 | 0 | 2 | 10 | 15 | 16 |
| Zutreffende Ergebnisse | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 5 | 16 |
| Weiterführende Bewertung der Ergebnisse | 2 | 5 | 8 | 8 | 8 | 2 | 5 | 7 | 8 | 8 | 4 | 10 | 15 | 16 | 16 |
| Unabhängigkeit und Objektivität | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 3 | 16 |
| Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen | 0 | 3 | 6 | 8 | 8 | 0 | 0 | 3 | 7 | 8 | 0 | 3 | 9 | 15 | 16 |
| Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte | 0 | 3 | 6 | 8 | 8 | 0 | 1 | 4 | 6 | 8 | 0 | 4 | 10 | 14 | 16 |
| Flexibilität, Verfügbarkeit | 0 | 0 | 4 | 7 | 8 | 0 | 1 | 3 | 7 | 8 | 0 | 1 | 7 | 14 | 16 |
| Auswertung je Merkmal | Median | | | | | Median | | | | | Median | | | | |
| | Leitungs-ebene | | | | | Sachbe-arbeiterebene | | | | | gesamt | | | | |
| Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge | 4,7 | | | | | 4,8 | | | | | 4,8 | | | | |
| Angemessenheit der Dienstleistung | 3,5 | | | | | 3,0 | | | | | 3,3 | | | | |
| Zutreffende Ergebnisse | 4,8 | | | | | 4,7 | | | | | 4,8 | | | | |
| Weiterführende Bewertung der Ergebnisse | 2,2 | | | | | 2,2 | | | | | 2,2 | | | | |
| Unabhängigkeit und Objektivität | 4,9 | | | | | 4,8 | | | | | 4,9 | | | | |
| Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen | 2,8 | | | | | 3,8 | | | | | 3,3 | | | | |
| Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte | 2,8 | | | | | 3,5 | | | | | 3,2 | | | | |
| Flexibilität, Verfügbarkeit | 3,5 | | | | | 3,8 | | | | | 3,6 | | | | |
| | Bedeutungs- maß gesamt | | | | | Prozentuale Häufigkeit gesamt | | | | | | | | | |
| Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge | 5 | | | | | 16% | | | | | | | | | |
| Angemessenheit der Dienstleistung | 3 | | | | | 11% | | | | | | | | | |
| Zutreffende Ergebnisse | 5 | | | | | 16% | | | | | | | | | |
| Weiterführende Bewertung der Ergebnisse | 2 | | | | | 7% | | | | | | | | | |
| Unabhängigkeit und Objektivität | 5 | | | | | 16% | | | | | | | | | |
| Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen | 3 | | | | | 11% | | | | | | | | | |
| Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte | 3 | | | | | 11% | | | | | | | | | |
| Flexibilität, Verfügbarkeit | 4 | | | | | 12% | | | | | | | | | |

Anlage 1-2

Auswertung Expertenbefragung „Kundenanforderungen“

| Optimierungsrichtung | | O | O | ↑ | O | O | O | O |
|--|------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Kundenanforderung | Qualitäts- merkmale | Sachgerechte Probenahme | Normgerechte Prüfungsdurchführung | Effiziente Arbeitsweise | Qualifizierte Fachkräfte | Prüfmittelüberwachung | Lenkung der Dokumente | Probeneingangsmanagement |
| | Gewichtung | | | | | | | |
| Fach- und sachgerechte Bearbeitung der Aufträge | 5 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Angemessenheit der Dienstleistung | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| Zutreffende Ergebnisse | 5 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Weiterführende Bewertung der Ergebnisse | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Unabhängigkeit und Objektivität | 5 | 3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Kurze Bearbeitungsdauer der Prüfungen | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Zeitnahe Übermittlung der Prüfberichte | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| Flexibilität, Verfügbarkeit | 4 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Messbare Zielwerte | | | | | | | | |
| Bedeutung der Qualitätsmerkmale | absolut | 58 | 61 | 49 | 46 | 36 | 39 | 26 |
| | relativ | 18% | 19% | 16% | 15% | 11% | 12% | 8% |

QFD-Beziehungsmatrix: Erfüllungsgrade der Kundenanforderung über Qualitätsmerkmale

(Korrelation: 3-stark, 2-schwach, 1-möglich, 0-nicht)

| | |
|------------|---|
| Anlage 1-3 | Bestimmung der Bedeutung von Qualitätsmerkmalen |
|------------|---|

Gesprächsleitfaden für Expertenbefragung „FMEA“ und „Probenahme“

Datum:

Name:

Funktion:

- Einleitung
 - Ziel der eigenen Arbeit
 - Qualitätsfähigkeit der Prozesse Kontrollprüfung, Zusätzliche Kontrollprüfung und Schiedsuntersuchung
 - Betrachtung von Baustoffuntersuchungen

- offene Fragen zur Fehleranalyse
 - a) Wie beurteilen sie das bestehende Qualitätssicherungssystem, insbesondere hinsichtlich der Funktionsfähigkeit der Qualitätskontrolle?

 - b) Welche Schwachstellen sehen sie bei Durchführung der Qualitätskontrolle?

 - c) Fallen ihnen noch weitere Probleme im Prozessablauf von Kontrollprüfungen oder Schiedsuntersuchungen ein, zu:
 - Ablauf der Auftragsvergabe / Auftragsannahme
 - Durchführung der Probenahme
 - Organisation des Probenversands
 - Erstellung und Versenden des Prüfberichtes

 - d) Können sie sich eine ausschließliche Durchführung von Kontrollprüfungen an wiedererwärmten Bohrkernen vorstellen?

| Prozesselement | Fehlerursachen | Absolute Häufigkeit |
|-----------------|---|---------------------|
| Auftragsannahme | Abstimmung zwischen Kunde und Prüfstelle erfolgt nur mündlich | 3 |
| | Veränderungen im Bauablauf führen zu kurzfristigen Prüfindervallen | 2 |
| | Voraussetzungen der Qualitätskontrolle sind dem Kunden unbekannt | 3 |
| | Kontrollprüfung ist Teil der Leistungsbeschreibung des Bauvertrags | 5 |
| | Kein Austausch von Informationen zwischen Kunde und Prüfstelle | 1 |
| Probenahme | Auftraggeber verletzt Aufsichtspflicht | 18 |
| | Randbedingungen beim Einbau lassen Ort der Probenahme nicht zu | 18 |
| | Probenahme erfolgt mit unqualifiziertem Personal | 16 |
| | Leerfahren des Materialkübels | 15 |
| | Arbeitsunterbrechung | 14 |
| | Schnecke nicht an Einbaubreite angepasst | 9 |
| | Abkühlen des Asphaltmischguts | 17 |
| | Probenehmer von Asphaltmischgut ist ungeschult | 18 |
| | Geräte und Prüfmittel nicht verfügbar | 13 |
| | Auskühlen des Mischguts bei Probeteilung | 11 |
| | Fremdstoffe am Entnahmeort, Verunreinigung Geräte | 7 |
| | Überverdichtung an Station der Probenahme | 13 |
| | Entnahme aus Randbereich des Einbaustreifens | 14 |
| | Fehlstellen an Station der Probenahme | 12 |
| | Probenehmer von Bohrkernen ist ungeschult | 10 |
| | Probenahme überbauter Schichten | 18 |
| | Prozessbeteiligte nicht vor Ort | 6 |
| | Nicht fachgerechte Ausführung, Probenahmegerät ungeeignet | 4 |
| | Voraussetzungen der Qualitätskontrolle sind dem Kunden unbekannt | 18 |
| Probenversand | Probenehmer ungeschult | 10 |
| | Kennzeichnung vergessen | 3 |
| | Ungeeigneter Probebehälter | 6 |
| | Luftzufuhr, Alterung der Probe | 5 |
| | Unzureichende/nicht permanente Kennzeichnung | 1 |
| | Auftraggeber verletzt Aufsichtspflicht | 4 |
| | Probegefäße für Transport nicht vorhanden | 2 |
| Prüfbericht | Dokumentation in Prüfbericht fehlerhaft | 3 |
| | Falsche Untersuchungsmethode durchgeführt | 1 |
| | Prüfstelle erhält keine Niederschrift der Probenahme | 18 |
| | Spezifikationen aus Bauvertrag liegen der Prüfstelle nicht vor | 8 |
| | Prüfstelle liegen nicht aktuelle Spezifikationen aus Bauvertrag vor | 3 |

| | |
|-------------------|--|
| Anlage 2-2 | Absolute Häufigkeiten von Fehlerursachen bei Kontrollprüfungen |
|-------------------|--|

| Prozesselement | Fehlerursachen | Absolute Häufigkeit |
|-----------------|--|---------------------|
| Auftragsannahme | Abstimmung zwischen Kunde und Prüfstelle erfolgt nur mündlich | 3 |
| | Veränderungen im Bauablauf führen zu kurzfristigen Prüfintervalen | 2 |
| | Voraussetzungen der Qualitätskontrolle sind dem Kunden unbekannt | 3 |
| | Kontrollprüfung ist Teil der Leistungsbeschreibung des Bauvertrags | 5 |
| | Kein Austausch von Informationen zwischen Kunde und Prüfstelle | 1 |
| Probenahme | Auftraggeber verletzt Aufsichtspflicht | 18 |
| | Randbedingungen beim Einbau lassen Ort der Probenahme nicht zu | 18 |
| | Probenahme erfolgt mit unqualifiziertem Personal | 16 |
| | Überverdichtung an Station der Probenahme | 13 |
| | Entnahme aus Randbereich des Einbaustreifens | 14 |
| | Fehlstellen an Station der Probenahme | 12 |
| | Probenehmer von Bohrkernen ist ungeschult | 10 |
| | Probenahme überbauter Schichten | 18 |
| | Prozessbeteiligte nicht vor Ort | 6 |
| | Nicht fachgerechte Ausführung, Probenahmegerät ungeeignet | 4 |
| | Voraussetzungen der Qualitätskontrolle sind dem Kunden unbekannt | 18 |
| | Keine Zuordnung der Probe möglich | 3 |
| | Probe nicht geschützt/verschlossen aufbewahrt | 4 |
| | Unsachgemäße Probenahme nicht bekannt | 18 |
| | Keine Teilprobe für Auftragnehmer entnommen | 7 |
| | Auftragnehmer ermittelt kein oder ein falsches Ergebnis | 3 |
| | Teilprobe wird vom Auftraggeber nicht aufbewahrt | 11 |
| | Entnahme einer Einzelprobe statt einer Durchschnittsprobe | 6 |
| | Nicht auf Mischgutart angepasste Walzverdichtung | 12 |
| | Zeitpunkt Probenahme zu spät, Einflüsse Witterung/Verkehr | 10 |
| | Zeitpunkt der Probenahme zu spät, Einflüsse Verschmutzung/Verkehr | 5 |
| | Lieferungen von Asphaltmischgut verschiedener Mischanlagen | 13 |
| Probenversand | Probenehmer ungeschult | 10 |
| | Kennzeichnung vergessen | 3 |
| | Unzureichende/nicht permanente Kennzeichnung | 1 |
| | Auftraggeber verletzt Aufsichtspflicht | 4 |
| | Probegefäße für Transport nicht vorhanden | 2 |
| Prüfbericht | Keine Anforderungen an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen zur Kornverfeinerung vorhanden | 18 |
| | Keine Anforderungen an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen zum Bindemittelgehalt vorhanden | 11 |
| | Keine Anforderungen an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen zum Erweichungspunkt des Bitumens vorhanden | 15 |

| | |
|-------------------|--|
| Anlage 2-3 | Absolute Häufigkeiten von Fehlerursachen bei Schiedsuntersuchungen |
|-------------------|--|

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|---|--|---|---------------------------|--|--------------------|---|----|-----|---|-------------------------------|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: Kontrollprüfung/ Schiedsuntersuchung | Art der FMEA: System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | Seite: 1 | | | | | | | | | | |
| | | | Verantwortlich: T. Wolf | | Erstellt: 03.2006 | | | | | | | | | | |
| Prozesselement:: Auftragsannahme | | | Firma: | | Verändert: 02.2009 | | | | | | | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Bestätigung des Auftrags | Termine werden nicht eingehalten | Lange Bearbeitungszeit des Prüfauftrages | 6 | Abstimmung zwischen Kunde und Prüfstelle erfolgt nur mündlich | 2 | Lenkung der Dokumente und dokumentierte Abwicklung von Aufträgen beachten | 10 | 120 | Formblatt oder Checkliste für Auftragsannahme | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Termine werden nicht eingehalten | Keine freien Kapazitäten in der Prüfstelle, Auftrag kann nicht erfüllt werden | 8 | Veränderungen im Bauablauf führen zu kurzfristigen Prüfintervallen | 2 | Zeitmanagement und dokumentierte Abwicklung von Aufträgen beachten | 5 | 80 | Leistungskapazität der Prüfstelle bestimmen; Zeitfenster bei Auftragsbeginn fixieren | Prüfstelle (P) | | | | | |
| Information | Nicht zugelassene Prüfstelle nimmt Prüfauftrag an | Prüfergebnis wird angezweifelt | 10 | Voraussetzungen der Qualitätskontrolle sind dem Kunden unbekannt | 2 | Beachtung der Zulassungs- vorschrift von Prüfstellen | 1 | 20 | Seminare und interne Weiterbildung zur Qualitätskontrolle | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Lieferant (AN) oder Prüfstelle führt EÜ und KP aus | Keine objektive und unabhängige Leistung | 10 | KP ist Teil der Leistungs- beschreibung des Bauvertrags | 3 | Beachtung der Regelwerke (ZTV) | 1 | 30 | Seminare und interne Weiterbildung zur Qualitätskontrolle | Kunde (AG) | | | | | |
| | Prüfungen haben systematische Fehler | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Kein Austausch von Informationen zwischen Kunde und Prüfstelle | 1 | Informationen zeitnah unter Prozessbeteiligten austauschen | 10 | 100 | Formblatt oder Checkliste für Auftragsannahme | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|--|--|--|----|--|----|---|---|-----|--|-------------------------------|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: Kontrollprüfung (* auch Relevanz für Schiedsuntersuchung) | Art der FMEA: System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | | | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | | | | Seite: 2 | | | | |
| | | | | | | Verantwortlich: T. Wolf | | | | | Erstellt: 03.2006 | | | | |
| Prozesselement:: Probenahme | | | | | | Firma: | | | | | Verändert: 02.2009 | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Plan zur Probenahme* | Lieferant (AN/L) ent- nimmt Probe | Keine objektive und unabhängige Probenahme | 10 | Kunde (AG) verletzt Aufsichtspflicht | 10 | Niederschrift zur Probenahme | 5 | 500 | Prüfplanung verbessern, Entnahme der Proben durch unabhängige Stelle | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Mischgut/ Bohrkern Stationen stimmen nicht überein | Proben haben keine zweifelsfreie Zugehörigkeit, unzutreffende Ergebnisse | 10 | Randbe- dingungen beim Einbau lassen Ort der Probe- nahme nicht zu | 10 | Probenahmeplan anwenden, Kontrolle Lage der Probenahme | 5 | 500 | Durchführung von Kontrollprüfungen an wiedererwärmten Bohrkernen | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | | | | Probenahme erfolgt mit unqualifiziertem Personal | 9 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 450 | Seminare und interne Weiterbildung | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| Probenahme Asphaltmischgut | Entmischung an Verteiler- schnecke | Ermittlung unzutreffende Ergebnisse | 10 | Leerfahren des Materialkübels | 8 | Eigenüberwachung, augenscheinliche Beurteilung | 5 | 400 | Interne Weiterbildung | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Arbeits- unterbrechung | 8 | Eigenüberwachung, augenscheinliche Beurteilung | 5 | 400 | Interne Weiterbildung | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Schnecke nicht an Einbaubreite angepasst | 5 | Eigenüberwachung, augenscheinliche Beurteilung | 5 | 250 | Interne Weiterbildung | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Abkühlen des Asphaltmischguts | 9 | Eigenüberwachung, augenscheinliche Beurteilung | 5 | 450 | Messung der Temperatur | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Probennehmer ungeschult | 10 | Eigenüberwachung, augenscheinliche Beurteilung | 5 | 500 | Interne Weiterbildung, Probenahmeverfahren verbessern | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|--|--|--|----|--|----|--|---|-----|---|-------------------------------|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: Kontrollprüfung (* auch Relevanz für Schiedsuntersuchung) | Art der FMEA: System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | | | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | | | | Seite: 3 | | | | |
| | | | | | | Verantwortlich: T. Wolf | | | | | Erstellt: 03.2006 | | | | |
| Prozesselement:: Probenahme | | | | | | Firma: | | | | | Verändert: 02.2009 | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Probenahme Asphaltemischgut | Entmischung bei Probenahme | Probe ist nicht repräsentativ, unzutreffende Ergebnisse | 10 | Probenehmer ungeschult | 10 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 500 | Interne Weiterbildung, Probenahmeverfahren verbessern | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Geräte und Prüfmittel nicht verfügbar | 7 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 350 | Prüfmittelüberwachung einrichten/verbessern | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | Nicht sachgemäße Aufteilung der Proben | Teilproben nicht vergleichbar, Ausführung nicht fachgerecht | 10 | Auskühlen des Mischguts | 6 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 300 | Probeteilung im Laboratorium durchführen | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Fremdstoffe in der Probe | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Fremdstoffe am Entnahmeort, Verunreinigung Geräte | 4 | Geräte des Einbaus nicht zur Probenahme verwenden | 5 | 200 | Prüfmittelüberwachung einrichten/verbessern | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| Probenahme Bohrkern * | Entnahme von inhomogenen Proben | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Überverdichtung an Station der Probenahme | 7 | Kontrolle beim Einbau, Messung, augenscheinlich | 5 | 350 | Verdichtungskontrollen beim Einbau, Vermerk in der Niederschrift Probenahme | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Entnahme aus Randbereich des Einbaustreifens | 8 | Probenahmeplan beachten | 5 | 400 | Interne Weiterbildung, Prüfplanung verbessern | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Fehlstellen an Station der Probenahme | 7 | Kontrolle beim Einbau, Messung, augenscheinlich | 5 | 350 | Verdichtungskontrollen beim Einbau, Vermerk in der Niederschrift Probenahme | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Probenehmer ungeschult | 6 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 300 | Seminare und interne Weiterbildung | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|--|--|--|----|--|----|--|---|-----|--|-------------------------------|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: Kontrollprüfung (* auch Relevanz für Schiedsuntersuchung) | Art der FMEA: System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | | | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | | | | Seite: 4 | | | | |
| | | | | | | Verantwortlich: T. Wolf | | | | | Erstellt: 03.2006 | | | | |
| Prozesselement:: Probenahme | | | | | | Firma: | | | | | Verändert: 02.2009 | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Probenahme Bohrkern * | Entnahme von inhomogenen Proben | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Probenahme überbauter Schichten | 10 | Kontrolle beim Einbau, augenscheinliche Beurteilung | 5 | 500 | Verdichtungskontrollen beim Einbau, Vermerk in der Niederschrift Probenahme, Baubegleitende Probenahmen Entnahme von Durchschnittsproben | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Prozessbeteiligte nicht vor Ort | 4 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 200 | Prüfplanung verbessern | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | Beschädigung der Probe | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Nicht fachgerechte Ausführung Probenahme- gerät ungeeignet (Bohrkrone, Wasserzufuhr) | 3 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 150 | Verfahrensanweisung für Probenahme | Prüfstelle (P) | | | | | |
| | Bohrkern- entnahme zur Bestimmung der Asphalt- mischgut- kenndaten | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Voraussetzungen der Qualitätskontrolle sind dem Kunden unbekannt | 10 | Technische Prüfvorschrift Asphalt beachten | 5 | 500 | Anwendung zulässiger Toleranzen, die den Einfluss des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis berücksichtigen | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|--|--|---|----|---|---|--|---|--------------------|---|--|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: Kontrollprüfung (* auch Relevanz für Schiedsuntersuchung) | Art der FMEA: System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | | | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | Seite: 5 | | | | | | | |
| | | | | | | Verantwortlich: T. Wolf | | Erstellt: 03.2006 | | | | | | | |
| Prozesselement:: Probenversand | | | | | | Firma: | | Verändert: 02.2009 | | | | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Kennzeichnung der Probe * | Unheitliche Beschriftung der Proben | Vertauschen der Proben, unzutreffende Ergebnisse | 10 | Probenehmer ungeschult | 6 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 300 | Prüfplanung verbessern | Kunde (AG) Lieferant (AN) Prüfstelle (P) | | | | | |
| | Fehlende Kenn- zeichnung | Zuordnung nicht möglich, weitere Probenahme ver- zögert Prüfablauf | 6 | Kennzeichnung vergessen | 2 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 12 | Prüfplanung verbessern | Kunde (AG) Lieferant (AN) Prüfstelle (P) | | | | | |
| Verpackung der Probe | Fremdstoffe in Probe | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Ungeeigneter Probebehälter | 4 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 200 | Kontrollprüfung an wiedererwärmten Bohrkernen, keine Asphaltmischgutproben | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Probe nicht geschützt/ verschlossen | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Luftzufuhr, Alterung der Probe | 3 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 30 | Kontrollprüfung an wiedererwärmten Bohrkernen, keine Asphaltmischgutproben | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| Transport der Probe * | Fehlende Kenn- zeichnung | Zuordnung nicht möglich, weitere Probenahme ver- zögert Prüfablauf | 6 | Unzureichende/ nicht permanente Kennzeichnung | 1 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 6 | Prüfmittelüberwachung einrichten/verbessern | Kunde (AG) Lieferant (AN) Prüfstelle (P) | | | | | |
| | Einlieferung der Probe nicht durch Kunde (AG) | Manipulation nicht auszuschließen, Unabhängigkeit nicht gegeben | 10 | Kunde (AG) verletzt Aufsichtspflicht | 3 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 30 | Unabhängige Prüfstelle führt Probenahme/Transport selbst durch | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Probe unsachgemäß aufbewahrt | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Probegefäße für Transport nicht vorhanden | 2 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 20 | Unabhängige Prüfstelle führt Probenahme/Transport selbst durch | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|--|--|---|----|---|----|--|---|-----|--|----------------------------|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: | | Art der FMEA: | | | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | | | Seite: 6 | | | | | |
| Kontrollprüfung | | System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | | | Verantwortlich: T. Wolf | | | | Erstellt: 03.2006 | | | | | |
| Prozesselement:: Prüfbericht | | | | | | Firma: | | | | Verändert: 02.2009 | | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Dokumentation | Angaben zur Art der Untersuchung fehlen | weiterführende Bewertung der Ergebnisse nicht möglich | 3 | Dokumentation in Prüfbericht fehlerhaft | 2 | Technische Prüfvorschrift Asphalt beachten | 5 | 30 | Arbeits- und Verfahrensanweisungen in der Prüfstelle | Prüfstelle (P) | | | | | |
| | | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Falsche Untersuchungsmethode durchgeführt | 1 | Technische Prüfvorschrift Asphalt beachten | 5 | 50 | Arbeits- und Verfahrensanweisungen in der Prüfstelle | Prüfstelle (P) | | | | | |
| | Keine Angabe von weiteren Informationen wie mögliche Fehler der Probenahme | weiterführende Bewertung der Ergebnisse nicht möglich | 3 | Prüfstelle erhält keine Niederschrift der Probenahme | 10 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 150 | Lenkung der Dokumente | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| Beurteilung | Keine Beurteilung möglich | verzögerte Übermittlung des Prüfberichts | 6 | Spezifikationen aus Bauvertrag liegen der Prüfstelle nicht vor | 5 | Lenkung der Dokumente beachten | 1 | 30 | Lenkung der Dokumente | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Falsche Beurteilung | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Prüfstelle liegen nicht aktuelle Spezifikationen aus Bauvertrag vor | 2 | Eignungsnachweis als Teil des Bauvertrags und Lenkung der Dokumente beachten | 5 | 100 | Lenkung der Dokumente | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|--|--|---|----|---|----|--|----|-----|---|-------------------------------|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: | | Art der FMEA: | | | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | | | Seite: 7 | | | | | |
| Schiedsuntersuchung | | System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | | | Verantwortlich: T. Wolf | | | | Erstellt: 03.2006 | | | | | |
| Prozesselement:: Probenahme | | | | | | Firma: | | | | Verändert: 02.2009 | | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Probe Asphaltmischgut | Aufbewahrung der Probe erfolgt nicht sachgemäß | Unzutreffende Ergebnisse | 10 | Keine Zuordnung der Probe möglich | 2 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 20 | Prüfplanung verbessern | Kunde (AG) | | | | | |
| | | | | Probe nicht geschützt/ verschlossen aufbewahrt | 3 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 30 | Kontrollprüfung an wiedererwärmten Bohrkernen, keine Asphaltmischgutproben | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Untersuchung an nicht sachgemäß entnommener Probe | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Unsachgemäße Probenahme nicht bekannt | 10 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 500 | Kontrollprüfung an wiedererwärmten Bohrkernen, keine Asphaltmischgutproben | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Lieferant (AN) führt Untersuchung an Teilprobe nicht sachgerecht durch | Unsachgerechte Schieds- untersuchung, die formal nicht durchgeführt werden darf | 10 | Keine Teilprobe für Lieferant (AN) entnommen | 4 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 40 | Kontrollprüfung an wiedererwärmten Bohrkernen, keine Asphaltmischgutproben | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | | | | Lieferant (AN) ermittelt kein oder ein falsches Ergebnis | 2 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 10 | 200 | Eigenüberwachung des Lieferanten (AN) überprüfen und kontrollieren | Kunde (AG) Lieferant (AN) | | | | | |
| | | | | Teilprobe wird vom Kunde (AG) nicht aufbewahrt | 6 | Aufbewahrungszeit mindestens 6 Monate festlegen, Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 1 | 60 | Lagerkapazitäten schaffen, Kontrollprüfung an wiedererwärmten Bohrkernen, keine Asphaltmischgutproben | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|--|--|---|----|--|---|--|---|-----|--|--|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: | | Art der FMEA: | | | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | | | Seite: 8 | | | | | |
| Schiedsuntersuchung | | System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | | | Verantwortlich: T. Wolf | | | | Erstellt: 03.2006 | | | | | |
| Prozesselement:: Probenahme | | | | | | Firma: | | | | Verändert: 02.2009 | | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Probenahme Bohrkern | Entnahme einer un- zureichenden Probemenge | Entnahme weiterer Bohr- kerne notwendig, lange Prüfzeiten | 6 | Probenehmer ungeschult | 6 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme / TP Asphalt beachten | 1 | 36 | Prüfplanung verbessern, Durchmesser Bohrkern erhöhen für ausreichende Probemenge | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse durch unsachgerechte Probenahme | 10 | Entnahme einer Einzelprobe statt einer Durch- schnittsprobe | 4 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 200 | Prüfplanung verbessern, Optimierung der Abstände zwischen den Entnahmestellen der Einzelbohrkerne | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | Entnahme von inhomogenen Proben, durch Kornzer- trümmerung im Probefeld | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse durch Kornverfeinerung in der Schicht mit Einfluss auf Korngrößen- verteilung, Raumdichte, Hohlraumgehalt | 10 | nicht auf Mischgutart angepasste Walzverdichtung | 7 | Eigenüberwachung des Lieferanten (AN) kontrollieren, Technisches Regelwerk beachten | 5 | 350 | Einbauparameter protokollieren | Kunde (AG) Lieferant (AN) Prüfstelle (P) | | | | | |
| | | | | Zeitpunkt der Probenahme erfolgt zu spät, Einflüsse aus Witterung und Verkehr | 6 | Technische Prüf- vorschrift zur Probe- nahme beachten, Antrag auf Schieds- untersuchung max. 2 Mon. nach Rüge | 5 | 300 | Prüfplanung verbessern, Abstimmung zwischen den Prozessbeteiligten zur Festlegung von Entnahmeort und Zeit | Kunde (AG) Lieferant (AN) Prüfstelle (P) | | | | | |
| | Fremdstoffe/ in der Probe | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse durch Veränderungen Asphaltkennndaten | 10 | Zeitpunkt Probe- nahme erfolgt zu spät, Einflüsse aus Verkehr und Verschmutzung | 3 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme/ Technisches Regelwerk beachten | 5 | 150 | Prüfplanung verbessern, Abstimmung zwischen den Prozessbeteiligten | Kunde (AG) Lieferant (AN) Prüfstelle (P) | | | | | |
| | Bohrkernent- nahme nicht einer Misch- gutcharge zuzuordnen | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse | 10 | Lieferungen von Asphaltmischgut verschiedener Mischanlagen | 7 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme/ Technisches Regelwerk beachten | 5 | 350 | Prüfplanung verbessern, Optimierung der Abstände zwischen den Entnahmestellen der Einzelbohrkerne | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |

| FMEA Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | | | | | | | | | | | Nummer: 1 | | | | |
|--|------------------------|--|----|--|----|--|---|-----|---|-------------------------------|--------------------------|---|---|---|-----|
| Prozess: | | Art der FMEA: | | | | FMEA angelegt am: 12.2004 | | | | Seite: 9 | | | | | |
| Schiedsuntersuchung | | System FMEA Prozess <input checked="" type="checkbox"/> System FMEA Produkt <input type="checkbox"/> | | | | Verantwortlich: T. Wolf | | | | Erstellt: 03.2006 | | | | | |
| Prozesselement:: Prüfbericht | | | | | | Firma: | | | | Verändert: 02.2009 | | | | | |
| IST-ZUSTAND | | | | | | | | | | | VERBESSERTER ZUSTAND | | | | |
| System/ Merkmale | Potentielle Fehler | Potentielle Folgen des Fehlers | B | Potentielle Fehlerursachen | A | Maßnahmen zur Vermeidung/ Entdeckung | E | RPZ | Vorgeschlagene Maßnahmen | Ver- antwortung | Realisierte Maßnahmen | B | A | E | RPZ |
| Beurteilung | Falsche Beurteilung | Ermittlung unzu- treffender Ergeb- nisse durch Korn- verfeinerung in der Probe infolge Schneidwirkung der Bohrkronen | 10 | Es bestehen keine Anforderungen an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen zur Kornverfeinerung | 10 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 500 | Anwendung zulässiger Toleranzen, die den Einfluss des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis berücksichtigen | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse durch Bindemittelentzug in der Trennfläche des Bohrkerns infolge der Reibenergie des Bohrverfahrens | 10 | Es bestehen keine Anforderungen an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen zum Bindemittelgehalt | 6 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 300 | Anwendung zulässiger Toleranzen, die den Einfluss des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis berücksichtigen | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse durch Bindemittelver- härtung am Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen | 10 | Es bestehen keine Anforderungen an Mischgut aus wiedererwärmten Bohrkernen zum Erweichungs- punkt Bitumen | 8 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 400 | Anwendung zulässiger Toleranzen, die den Einfluss des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis berücksichtigen | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |
| | | Ermittlung unzutreffender Ergebnisse infolge Abstreusplitt in der Probe | 10 | Es bestehen keine Anforder- ungen an Misch- gut aus wieder- erwärmten Bohr- kernen zur Kornverfeinerung | 10 | Technische Prüfvorschrift zur Probenahme beachten | 5 | 500 | Anwendung zulässiger Toleranzen, die den Einfluss des Probenahmeverfahrens auf das Prüfergebnis berücksichtigen | Prüfstelle (P), Kunde (AG) | | | | | |

| PN | Mischgutsorte | Prüfmerkmal "Füllergehalt" | | | | |
|-----|------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Einzelwerte n [-] | Mittelwert \bar{X} [M.-%] | Soll "EP" [M.-%] | Standardabweichung s_a [M.-%] | Spannweite $\Delta (d_R - w_x)$ [M.-%] |
| DIN | SMA 0/11 S | 4 | 10,8 | 10,7 | 0,31 | 1,12 |
| | AB 0/11 S | 4 | 8,8 | 7,7 | 0,13 | 1,52 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 6,3 | 5,4 | 0,08 | 1,46 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 7,4 | 7,2 | 0,20 | 1,26 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 5,4 | 5,5 | 0,35 | 1,06 |
| VER | SMA 0/11 S | 4 | 10,6 | 10,7 | 0,39 | 0,92 |
| | AB 0/11 S | 4 | 8,9 | 7,7 | 0,37 | 1,02 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 6,4 | 5,4 | 0,22 | 1,32 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 7,5 | 7,2 | 0,08 | 1,62 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 4,7 | 5,5 | 0,87 | 0,05 |
| BKE | SMA 0/11 S | 3 | 11,5 | 10,7 | 0,12 | 1,46 |
| | AB 0/11 S | 4 | 9,4 | 7,7 | 0,19 | 1,42 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 6,9 | 5,4 | 0,22 | 1,32 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 8,3 | 7,2 | 0,75 | 0,12 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 5,6 | 5,5 | 0,30 | 1,06 |
| BKD | SMA 0/11 S | 4 | 11,2 | 10,7 | 0,30 | 1,12 |
| | AB 0/11 S | 4 | 9,5 | 7,7 | 0,39 | 0,92 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 6,7 | 5,4 | 0,34 | 1,02 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 8,2 | 7,2 | 0,33 | 1,12 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 5,6 | 5,5 | 0,35 | 0,96 |

| PN | Mischgutsorte | Prüfmerkmal "Sandgehalt" | | | | |
|-----|------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Einzelwerte n [-] | Mittelwert \bar{X} [M.-%] | Soll "EP" [M.-%] | Standardabweichung s_a [M.-%] | Spannweite $\Delta (d_R - w_x)$ [M.-%] |
| DIN | SMA 0/11 S | 4 | 10,7 | 10,9 | 0,26 | 4,85 |
| | AB 0/11 S | 4 | 37,0 | 38,0 | 1,26 | 2,75 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 22,1 | 22,2 | 1,33 | 2,25 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 19,4 | 21,7 | 0,82 | 3,37 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 19,5 | 19,9 | 1,62 | 1,77 |
| VER | SMA 0/11 S | 4 | 10,4 | 10,9 | 0,33 | 4,65 |
| | AB 0/11 S | 4 | 37,4 | 38,0 | 2,12 | 1,05 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 24,0 | 22,2 | 0,88 | 3,55 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 21,2 | 21,7 | 1,34 | 2,45 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 17,3 | 19,9 | 2,02 | 1,37 |
| BKE | SMA 0/11 S | 3 | 12,5 | 10,9 | 0,21 | 4,57 |
| | AB 0/11 S | 4 | 36,9 | 38,0 | 1,34 | 2,25 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 22,4 | 22,2 | 2,41 | 0,34 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 20,0 | 21,7 | 2,35 | 0,05 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 19,4 | 19,9 | 2,20 | 1,07 |
| BKD | SMA 0/11 S | 4 | 12,1 | 10,9 | 0,29 | 4,75 |
| | AB 0/11 S | 4 | 36,3 | 38,0 | 1,12 | 2,75 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 22,3 | 22,2 | 1,08 | 3,05 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 20,9 | 21,7 | 1,11 | 2,95 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 18,7 | 19,9 | 1,29 | 2,57 |

Anlage 4-1

Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale an Proben aus Untersuchungsstrecken verschiedener Probenahmeverfahren (PN)

| PN | Mischgutsorte | Prüfmerkmal "Splittgehalt" | | | | |
|-----|------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Einzelwerte n [-] | Mittelwert \bar{X} [M.-%] | Soll "EP" [M.-%] | Standardabweichung s_a [M.-%] | Spannweite $\Delta (d_R - w_x)$ [M.-%] |
| DIN | SMA 0/11 S | 4 | 78,5 | 78,4 | 0,45 | 4,35 |
| | AB 0/11 S | 4 | 54,2 | 54,3 | 1,24 | 2,75 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 71,6 | 72,4 | 1,49 | 1,84 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 73,2 | 71,1 | 1,01 | 2,97 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 75,1 | 74,6 | 1,70 | 1,77 |
| VER | SMA 0/11 S | 4 | 79,0 | 78,4 | 0,60 | 4,15 |
| | AB 0/11 S | 4 | 53,7 | 54,3 | 2,03 | 0,95 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 69,6 | 72,4 | 0,72 | 3,95 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 71,3 | 71,1 | 1,32 | 2,45 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 78,0 | 74,6 | 1,62 | 1,77 |
| BKE | SMA 0/11 S | 3 | 76,0 | 78,4 | 0,15 | 4,67 |
| | AB 0/11 S | 4 | 53,7 | 54,3 | 1,44 | 1,95 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 70,7 | 72,4 | 2,52 | 0,04 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 72,9 | 71,1 | 2,34 | 0,57 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 75,0 | 74,6 | 1,93 | 1,56 |
| BKD | SMA 0/11 S | 4 | 76,7 | 78,4 | 0,47 | 4,45 |
| | AB 0/11 S | 4 | 54,2 | 54,3 | 0,87 | 3,45 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 71,0 | 72,4 | 1,32 | 2,64 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 70,9 | 71,1 | 1,33 | 2,45 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 75,7 | 74,6 | 1,61 | 1,87 |

| PN | Mischgutsorte | Prüfmerkmal "Grobkornanteil" | | | | |
|-----|------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Einzelwerte n [-] | Mittelwert \bar{X} [M.-%] | Soll "EP" [M.-%] | Standardabweichung s_a [M.-%] | Spannweite $\Delta (d_R - w_x)$ [M.-%] |
| DIN | SMA 0/11 S | 4 | 49,9 | 45,3 | 0,84 | 3,45 |
| | AB 0/11 S | 4 | 22,9 | 21,7 | 0,73 | 3,75 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 32,5 | 31,4 | 2,77 | 0,05 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 31,1 | 28,6 | 0,68 | 3,67 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 13,2 | 16,2 | 2,25 | 0,96 |
| VER | SMA 0/11 S | 4 | 49,7 | 45,3 | 2,32 | 0,24 |
| | AB 0/11 S | 4 | 22,2 | 21,7 | 1,62 | 1,95 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 26,7 | 31,4 | 1,49 | 2,25 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 26,6 | 28,6 | 2,07 | 0,65 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 14,1 | 16,2 | 2,40 | 0,27 |
| BKE | SMA 0/11 S | 3 | 40,6 | 45,3 | 1,67 | 2,07 |
| | AB 0/11 S | 4 | 20,9 | 21,7 | 1,23 | 2,55 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 2 | 28,6 | 31,4 | 2,12 | 1,16 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 25,8 | 28,6 | 2,59 | 0,06 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 12,8 | 16,2 | 1,39 | 2,47 |
| BKD | SMA 0/11 S | 4 | 42,4 | 45,3 | 1,70 | 1,65 |
| | AB 0/11 S | 4 | 21,4 | 21,7 | 0,82 | 3,65 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 3 | 25,1 | 31,4 | 2,49 | 0,06 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 23,8 | 28,6 | 0,90 | 3,35 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 11,2 | 16,2 | 0,40 | 4,17 |

Anlage 4-2

Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale an Proben aus Untersuchungsstrecken verschiedener Probenahmeverfahren (PN)

| PN | Mischgutsorte | Prüfmerkmal "Bindemittelgehalt" | | | | |
|-----|------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Einzelwerte n [-] | Mittelwert \bar{X} [M.-%] | Soll "EP" [M.-%] | Standardabweichung s_a [M.-%] | Spannweite $\Delta (d_R - w_x)$ [M.-%] |
| DIN | SMA 0/11 S | 4 | 6,3 | 6,5 | 0,10 | 0,38 |
| | AB 0/11 S | 4 | 5,9 | 5,9 | 0,10 | 0,34 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 4,4 | 4,3 | 0,05 | 0,70 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 4,4 | 4,4 | 0,15 | 0,49 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 3,6 | 3,9 | 0,17 | 0,49 |
| VER | SMA 0/11 S | 4 | 6,4 | 6,5 | 0,08 | 0,38 |
| | AB 0/11 S | 4 | 5,9 | 5,9 | 0,08 | 0,38 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 4,5 | 4,3 | 0,15 | 0,43 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 4,5 | 4,4 | 0,15 | 0,50 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 3,6 | 3,9 | 0,10 | 0,63 |
| BKE | SMA 0/11 S | 3 | 6,4 | 6,5 | 0,17 | 0,23 |
| | AB 0/11 S | 4 | 5,8 | 5,9 | 0,08 | 0,38 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 4,4 | 4,3 | 0,15 | 0,46 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 4,4 | 4,4 | 0,21 | 0,47 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 3,6 | 3,9 | 0,17 | 0,49 |
| BKD | SMA 0/11 S | 4 | 6,4 | 6,5 | 0,08 | 0,38 |
| | AB 0/11 S | 4 | 5,8 | 5,9 | 0,06 | 0,44 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 4,4 | 4,3 | 0,15 | 0,43 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 4,5 | 4,4 | 0,17 | 0,43 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 3,6 | 3,9 | 0,15 | 0,49 |

| PN | Mischgutsorte | Prüfmerkmal "Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK)" | | | | |
|-----|------------------|--|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Einzelwerte n [-] | Mittelwert \bar{X} [M.-%] | Soll "EP" [M.-%] | Standardabweichung s_a [M.-%] | Spannweite $\Delta (d_R - w_x)$ [M.-%] |
| DIN | SMA 0/11 S | 4 | 58,2 | --- | 0,19 | 5,60 |
| | AB 0/11 S | 4 | 49,9 | --- | 1,34 | 3,00 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 65,9 | --- | 0,82 | 4,00 |
| | ABi 0/22 S | --- ¹ | --- ¹ | --- | --- ¹ | --- ¹ |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 64,0 | --- | 2,03 | 2,30 |
| VER | SMA 0/11 S | 4 | 58,1 | --- | 0,53 | 4,80 |
| | AB 0/11 S | 4 | 50,1 | --- | 0,48 | 4,90 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 64,8 | --- | 0,81 | 4,20 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 60,4 | --- | 0,41 | 5,00 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 64,1 | --- | 1,15 | 3,70 |
| BKE | SMA 0/11 S | 3 | 57,9 | --- | 0,61 | 4,80 |
| | AB 0/11 S | 4 | 47,5 | --- | 0,10 | 5,80 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 64,3 | --- | 1,15 | 3,60 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 58,0 | --- | 0,87 | 4,00 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 62,8 | --- | 2,02 | 2,40 |
| BKD | SMA 0/11 S | 4 | 58,0 | --- | 0,59 | 4,60 |
| | AB 0/11 S | 4 | 48,8 | --- | 1,07 | 3,60 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 64,0 | --- | 0,44 | 5,00 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 58,6 | --- | 1,51 | 3,20 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 64,7 | --- | 1,18 | 3,90 |

¹ nicht ermittelt

Anlage 4-3

Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale an Proben aus Untersuchungsstrecken verschiedener Probenahmeverfahren (PN)

| PN | Mischgutsorte | Prüfmerkmal "Raumdichte am Probekörper (MPK)" | | | | |
|-----|------------------|---|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Einzelwerte n [-] | Mittelwert \bar{X} [M.-%] | Soll "EP" [M.-%] | Standardabweichung s_a [M.-%] | Spannweite $\Delta (d_R - w_x)$ [M.-%] |
| DIN | SMA 0/11 S | 4 | 2,420 | --- | 0,0099 | 0,0145 |
| | AB 0/11 S | 4 | 2,508 | --- | 0,0138 | 0,0000 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 2,460 | --- | 0,0108 | 0,0416 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 2,530 | --- | 0,0142 | 0,0415 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 2,485 | --- | 0,0197 | 0,0332 |
| VER | SMA 0/11 S | 4 | 2,414 | --- | 0,0070 | 0,0171 |
| | AB 0/11 S | 4 | 2,514 | --- | 0,0033 | 0,0253 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 2,459 | --- | 0,0104 | 0,0341 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 2,531 | --- | 0,0100 | 0,0467 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 2,487 | --- | 0,0114 | 0,0541 |
| BKE | SMA 0/11 S | 3 | 2,416 | --- | 0,0161 | 0,0000 |
| | AB 0/11 S | 4 | 2,526 | --- | 0,0107 | 0,0059 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 2,454 | --- | 0,0068 | 0,0443 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 2,508 | --- | 0,0233 | 0,0225 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 2,495 | --- | 0,0249 | 0,0262 |
| BKD | SMA 0/11 S | 4 | 2,431 | --- | 0,0121 | 0,0057 |
| | AB 0/11 S | 4 | 2,524 | --- | 0,0079 | 0,0126 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 2,457 | --- | 0,0087 | 0,0381 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 2,516 | --- | 0,0075 | 0,0561 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 2,491 | --- | 0,0178 | 0,0365 |

| PN | Mischgutsorte | Prüfmerkmal "Hohlraumgehalt am Probekörper (MPK)" | | | | |
|-----|------------------|---|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Einzelwerte n [-] | Mittelwert \bar{X} [M.-%] | Soll "EP" [M.-%] | Standardabweichung s_a [M.-%] | Spannweite $\Delta (d_R - w_x)$ [M.-%] |
| DIN | SMA 0/11 S | 4 | 3,2 | --- | 0,49 | 1,51 |
| | AB 0/11 S | 4 | 4,6 | --- | 0,42 | 1,64 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 6,8 | --- | 0,61 | 2,06 |
| | ABi 0/22 S | 3 | 7,1 | --- | 0,59 | 2,31 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 8,2 | --- | 1,04 | 1,44 |
| VER | SMA 0/11 S | 4 | 3,1 | --- | 0,57 | 1,31 |
| | AB 0/11 S | 4 | 4,0 | --- | 0,45 | 1,54 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 5,8 | --- | 0,56 | 2,13 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 6,6 | --- | 0,45 | 2,56 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 8,3 | --- | 0,55 | 2,47 |
| BKE | SMA 0/11 S | 3 | 2,8 | --- | 1,04 | 0,45 |
| | AB 0/11 S | 4 | 3,8 | --- | 0,44 | 1,54 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 6,8 | --- | 0,46 | 2,50 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 6,9 | --- | 0,91 | 1,70 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 7,5 | --- | 1,30 | 0,91 |
| BKD | SMA 0/11 S | 4 | 2,7 | --- | 0,40 | 1,68 |
| | AB 0/11 S | 4 | 3,8 | --- | 0,44 | 1,64 |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 6,2 | --- | 0,44 | 2,33 |
| | ABi 0/22 S | 4 | 7,2 | --- | 0,62 | 2,17 |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 8,0 | --- | 1,01 | 1,51 |

Anlage 4-4

Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale an Proben aus Untersuchungsstrecken verschiedener Probenahmeverfahren (PN)

| Prüfmerkmale | Mischgutsorte | Probenahmeverfahren | | | | Varianzquotiententest (F-Test) | | | Mittelwertdifferenzentest (t-test) | | | | |
|-----------------------|------------------|---------------------|----------------|-----|----------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------------|----|------------------|--------------------|--------------------------|
| | | DIN | | VER | | F | F _{krit} | Signifikanz ¹ | t _{krit} | df | t _{hom} | t _{inhom} | Signifikanz ² |
| | | n | s ² | n | s ² | | | | | | | | |
| Füllergehalt | SMA 0/11 S | 4 | 0,096 | 4 | 0,149 | 1,552 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,808 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,016 | 4 | 0,133 | 8,313 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,518 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,007 | 4 | 0,049 | 7,000 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,845 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 3 | 0,040 | 4 | 0,007 | 5,714 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 0,921 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,120 | 3 | 0,760 | 6,333 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 1,292 | -- | nein |
| Sandgehalt | SMA 0/11 S | 4 | 0,070 | 4 | 0,107 | 1,529 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,426 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 1,590 | 4 | 4,509 | 2,836 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,324 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 1,763 | 4 | 0,775 | 2,275 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,385 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 3 | 0,670 | 4 | 1,803 | 2,691 | 19,160 | nein | 2,571 | 5 | 2,029 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 2,613 | 3 | 4,093 | 1,566 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 1,471 | -- | nein |
| Spitgehalt | SMA 0/11 S | 4 | 0,203 | 4 | 0,363 | 1,788 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,329 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 1,542 | 4 | 4,136 | 2,682 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,420 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 2,216 | 4 | 0,516 | 4,295 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,420 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 3 | 1,030 | 4 | 1,736 | 1,685 | 19,160 | nein | 2,571 | 5 | 2,063 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 2,893 | 3 | 2,613 | 1,107 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 2,141 | -- | nein |
| Grobkornanteil | SMA 0/11 S | 4 | 0,703 | 4 | 5,396 | 7,676 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,162 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,527 | 4 | 2,623 | 4,977 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,789 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 7,647 | 4 | 2,217 | 3,449 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 3,693 | -- | ja |
| | ABi 0/22 S | 3 | 0,463 | 4 | 4,283 | 9,251 | 19,160 | nein | 2,571 | 5 | 3,550 | -- | ja |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 5,080 | 3 | 5,763 | 1,134 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,473 | -- | nein |
| Bindemittelgehalt | SMA 0/11 S | 4 | 0,009 | 4 | 0,007 | 1,286 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,581 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,009 | 4 | 0,007 | 1,286 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,000 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,002 | 4 | 0,022 | 11,000 | 9,280 | ja | 3,182 | 3 | -- | 1,291 | nein |
| | ABi 0/22 S | 3 | 0,023 | 4 | 0,022 | 1,045 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 0,875 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,030 | 3 | 0,010 | 3,000 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,000 | -- | nein |
| EP RuK | SMA 0/11 S | 4 | 0,037 | 4 | 0,277 | 7,486 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,357 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 1,803 | 4 | 0,230 | 7,839 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,281 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,676 | 4 | 0,650 | 1,040 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,911 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | -- | -- | 4 | 0,170 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 4,123 | 3 | 1,330 | 3,100 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,074 | -- | nein |
| Raumdichte am MPK | SMA 0/11 S | 4 | 0,0001 | 4 | 0,0000 | 2,033 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,988 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,0002 | 4 | 0,0000 | 17,417 | 9,280 | ja | 3,182 | 3 | -- | 0,843 | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,0001 | 4 | 0,0001 | 1,087 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,133 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 3 | 0,0002 | 4 | 0,0001 | 2,007 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 0,110 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,0004 | 3 | 0,0001 | 3,000 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,152 | -- | nein |
| Hohlraumgehalt am MPK | SMA 0/11 S | 4 | 0,236 | 4 | 0,329 | 1,394 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,266 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,180 | 4 | 0,203 | 1,128 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,939 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,369 | 4 | 0,316 | 1,168 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,416 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 3 | 0,343 | 4 | 0,203 | 1,690 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 1,286 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 1,083 | 3 | 0,303 | 3,574 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,147 | -- | nein |

¹ falls Signifikanz vorliegt, wird Homogenitätshypothese (H₀: $\sigma_{\max}^2 / \sigma^2 = 1$) verworfen; Varianzenheterogenität

² falls Signifikanz vorliegt, wird Nullhypothese verworfen; Mittelwertunterschiede sind signifikant

| Prüfmerkmale | Mischgutsorte | Probenahmeverfahren | | | | Varianzquotiententest (F-Test) | | | Mittelwertdifferenzentest (t-test) | | | | |
|-----------------------|------------------|---------------------|----------------|-----|----------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------------|----|------------------|--------------------|--------------------------|
| | | BKE | | BKD | | F | F _{krit} | Signifikanz ¹ | t _{krit} | df | t _{hom} | t _{inhom} | Signifikanz ² |
| | | n | s ² | n | s ² | | | | | | | | |
| Füllergehalt | SMA 0/11 S | 3 | 0,013 | 4 | 0,089 | 6,688 | 19,160 | nein | 2,571 | 5 | 1,619 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,036 | 4 | 0,149 | 4,163 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,465 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,049 | 4 | 0,116 | 2,356 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,985 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,563 | 4 | 0,109 | 5,160 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,244 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,090 | 3 | 0,123 | 1,370 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,000 | -- | nein |
| Sandgehalt | SMA 0/11 S | 3 | 0,043 | 4 | 0,087 | 2,000 | 19,160 | nein | 2,571 | 5 | 1,989 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 1,790 | 4 | 1,247 | 1,436 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,689 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 5,816 | 4 | 1,173 | 4,957 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,076 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 5,529 | 4 | 1,229 | 4,498 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,692 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 4,823 | 3 | 1,653 | 2,917 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,476 | -- | nein |
| Spitgehalt | SMA 0/11 S | 3 | 0,023 | 4 | 0,222 | 9,536 | 19,160 | nein | 2,571 | 5 | 2,425 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 2,062 | 4 | 0,749 | 2,753 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,596 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 6,349 | 4 | 1,737 | 3,656 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,211 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 3 | 5,493 | 4 | 1,773 | 3,098 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 1,450 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 3,743 | 3 | 2,590 | 1,445 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,482 | -- | nein |
| Grobkornanteil | SMA 0/11 S | 3 | 2,803 | 4 | 2,897 | 1,033 | 19,160 | nein | 2,571 | 5 | 1,394 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 1,523 | 4 | 0,676 | 2,254 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,674 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 2 | 4,500 | 3 | 6,190 | 1,376 | 18,510 | nein | 3,182 | 3 | 1,616 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 3 | 6,703 | 4 | 0,809 | 8,284 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 1,471 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 1,930 | 3 | 0,163 | 11,816 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 1,915 | -- | nein |
| Bindemittelgehalt | SMA 0/11 S | 3 | 0,030 | 4 | 0,007 | 4,500 | 19,160 | nein | 2,571 | 5 | 0,000 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,007 | 4 | 0,003 | 2,000 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,000 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,022 | 4 | 0,023 | 1,000 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,000 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,042 | 4 | 0,030 | 1,417 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,743 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,030 | 3 | 0,023 | 1,286 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,000 | -- | nein |
| EP RuK | SMA 0/11 S | 3 | 0,373 | 4 | 0,349 | 1,069 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 0,219 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,009 | 4 | 1,140 | 124,36 | 9,280 | ja | 3,182 | 3 | -- | 2,425 | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 1,320 | 4 | 0,197 | 6,712 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,487 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,757 | 4 | 2,267 | 2,996 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,690 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 4,093 | 3 | 1,403 | 2,917 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 1,404 | -- | nein |
| Raumdichte am MPK | SMA 0/11 S | 3 | 0,0003 | 4 | 0,0001 | 1,766 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 1,421 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,0001 | 4 | 0,0001 | 1,843 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,302 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,0000 | 4 | 0,0001 | 1,611 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,542 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,0005 | 4 | 0,0001 | 9,628 | 9,280 | ja | 3,182 | 4 | -- | 0,654 | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,0006 | 3 | 0,0003 | 1,969 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,226 | -- | nein |
| Hohlraumgehalt am MPK | SMA 0/11 S | 3 | 1,090 | 4 | 0,163 | 6,708 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 0,179 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,197 | 4 | 0,196 | 1,004 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,000 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,213 | 4 | 0,196 | 1,089 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,876 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,833 | 4 | 0,383 | 2,179 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,544 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 1,690 | 3 | 1,029 | 1,642 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,525 | -- | nein |

¹ falls Signifikanz vorliegt, wird Homogenitätshypothese (H₀: $\sigma_{\max}^2 / \sigma^2 = 1$) verworfen; Varianzenheterogenität

² falls Signifikanz vorliegt, wird Nullhypothese verworfen; Mittelwertunterschiede sind signifikant

| Prüfmerkmale | Mischgutsorte | Probenahmeverfahren | | | | Varianzquotiententest (F-Test) | | | Mittelwertdifferenzentest (t-test) | | | | |
|-----------------------|------------------|---------------------|----------------|-----|----------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------------|----|------------------|--------------------|--------------------------|
| | | BKD | | VER | | F | F _{krit} | Signifikanz ¹ | t _{krit} | df | t _{hom} | t _{inhom} | Signifikanz ² |
| | | n | s ² | n | s ² | | | | | | | | |
| Füllergehalt | SMA 0/11 S | 4 | 0,089 | 4 | 0,149 | 1,674 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,460 | -- | ja |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,149 | 4 | 0,133 | 1,120 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,260 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,116 | 4 | 0,049 | 2,367 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,477 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,109 | 4 | 0,007 | 15,571 | 9,280 | ja | 3,182 | 3 | -- | 4,111 | ja |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,123 | 3 | 0,760 | 6,179 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 1,659 | -- | nein |
| Sandgehalt | SMA 0/11 S | 4 | 0,087 | 4 | 0,107 | 1,230 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 7,719 | -- | ja |
| | AB 0/11 S | 4 | 1,247 | 4 | 4,509 | 3,616 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,917 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 1,173 | 4 | 0,775 | 1,514 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,436 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 1,229 | 4 | 1,803 | 1,467 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,345 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 1,653 | 3 | 4,093 | 2,476 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 1,012 | -- | nein |
| Spaltgehalt | SMA 0/11 S | 4 | 0,222 | 4 | 0,363 | 1,635 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 6,014 | -- | ja |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,749 | 4 | 4,136 | 5,522 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,452 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 1,737 | 4 | 0,516 | 3,366 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,865 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 1,773 | 4 | 1,736 | 1,021 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,427 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 2,590 | 3 | 2,613 | 1,009 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 1,746 | -- | nein |
| Grobkornanteil | SMA 0/11 S | 4 | 2,897 | 4 | 5,396 | 1,863 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 5,070 | -- | ja |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,676 | 4 | 2,623 | 3,880 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,881 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 3 | 6,190 | 4 | 2,217 | 2,792 | 9,550 | nein | 2,571 | 5 | 1,074 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,809 | 4 | 4,283 | 5,294 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,482 | -- | ja |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,163 | 3 | 5,763 | 35,356 | 19,000 | ja | 4,303 | 2 | -- | 2,063 | nein |
| Bindemittelgehalt | SMA 0/11 S | 4 | 0,007 | 4 | 0,007 | 1,000 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,000 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,003 | 4 | 0,007 | 2,333 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,000 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,023 | 4 | 0,022 | 1,045 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,943 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,030 | 4 | 0,022 | 1,364 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,000 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,023 | 3 | 0,010 | 2,300 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,000 | -- | nein |
| EP RuK | SMA 0/11 S | 4 | 0,349 | 4 | 0,277 | 1,260 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,253 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 1,140 | 4 | 0,230 | 4,957 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,221 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,197 | 4 | 0,650 | 3,299 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,739 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 2,267 | 4 | 0,170 | 13,335 | 9,280 | ja | 3,182 | 3 | -- | 2,306 | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 1,403 | 3 | 1,330 | 1,055 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,629 | -- | nein |
| Raumdichte am MPK | SMA 0/11 S | 4 | 0,0001 | 4 | 0,0000 | 3,594 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,408 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,0001 | 4 | 0,0000 | 5,606 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,346 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,0001 | 4 | 0,0001 | 1,432 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,295 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,0001 | 4 | 0,0001 | 1,784 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 2,397 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 0,0003 | 3 | 0,0001 | 2,443 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,328 | -- | nein |
| Hohlraumgehalt am MPK | SMA 0/11 S | 4 | 0,163 | 4 | 0,329 | 2,018 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,141 | -- | nein |
| | AB 0/11 S | 4 | 0,196 | 4 | 0,203 | 1,036 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 0,633 | -- | nein |
| | ABi 0/16 S (PmB) | 4 | 0,196 | 4 | 0,316 | 1,612 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,118 | -- | nein |
| | ABi 0/22 S | 4 | 0,383 | 4 | 0,203 | 1,887 | 9,280 | nein | 2,447 | 6 | 1,568 | -- | nein |
| | ATS 0/32 CS | 3 | 1,029 | 3 | 0,303 | 3,396 | 19,000 | nein | 2,776 | 4 | 0,450 | -- | nein |

¹ falls Signifikanz vorliegt, wird Homogenitätshypothese (Ho: $\sigma_{\max}^2 / \sigma^2 = 1$) verworfen; Varianzenheterogenität

² falls Signifikanz vorliegt, wird Nullhypothese verworfen; Mittelwertunterschiede sind signifikant

Anlage 5-3

Auswertung der Prüfergebnisse untersuchter Prüfmerkmale - Mittelwertvergleich der Probenahmeverfahren „BKD/VER“

| Art der Probe | Mischgut-sorte | n | Füllergehalt | | | | | Sandgehalt | | | | | Splittgehalt | | | | |
|---------------|----------------|---|--------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-----------|-------|-------|-------|--------------|-----------|-------|-------|-------|
| | | | x_1 | \bar{X} | s_r | d | d_a | x_2 | \bar{X} | s_r | d | d_a | x_3 | \bar{X} | s_r | d | d_a |
| WSV-BK | SMA 0/11 S | 3 | 13,40 | 13,47 | 0,092 | 0,130 | 0,360 | 10,60 | 10,40 | 0,283 | 0,400 | 1,108 | 76,00 | 76,14 | 0,191 | 0,270 | 0,748 |
| | | 3 | 13,53 | | | | | 10,20 | | | | | 76,27 | | | | |
| WSV-BK | ABi 0/16 S | 3 | 7,47 | 7,59 | 0,163 | 0,230 | 0,637 | 20,33 | 20,22 | 0,163 | 0,230 | 0,637 | 72,20 | 72,20 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | | 3 | 7,70 | | | | | 20,10 | | | | | 72,20 | | | | |
| WSV-BK | ABi 0/22 S | 3 | 7,77 | 7,80 | 0,042 | 0,060 | 0,166 | 20,40 | 20,04 | 0,516 | 0,730 | 2,022 | 71,83 | 72,17 | 0,474 | 0,670 | 1,856 |
| | | 3 | 7,83 | | | | | 19,67 | | | | | 72,50 | | | | |
| WSV-BK | AB 0/11 S | 3 | 9,70 | 9,92 | 0,304 | 0,430 | 1,191 | 38,87 | 39,15 | 0,396 | 0,560 | 1,551 | 51,43 | 50,93 | 0,707 | 1,000 | 2,770 |
| | | 3 | 10,13 | | | | | 39,43 | | | | | 50,43 | | | | |
| WSV-BK | ATS 0/32 CS | 3 | 8,23 | 8,22 | 0,021 | 0,030 | 0,083 | 19,00 | 19,15 | 0,212 | 0,300 | 0,831 | 72,77 | 72,64 | 0,191 | 0,270 | 0,748 |
| | | 3 | 8,20 | | | | | 19,30 | | | | | 72,50 | | | | |

| Art der Probe | Mischgut-sorte | n | Grobkornanteil | | | | | Bindemittelgehalt | | | | |
|---------------|----------------|---|----------------|-----------|-------|-------|-------|-------------------|-----------|-------|-------|-------|
| | | | x_1 | \bar{X} | s_r | d | d_a | x_2 | \bar{X} | s_r | d | d_a |
| WSV-BK | SMA 0/11 S | 3 | 40,60 | 40,59 | 0,021 | 0,030 | 0,083 | 6,80 | 6,79 | 0,021 | 0,030 | 0,083 |
| | | 3 | 40,57 | | | | | 6,77 | | | | |
| WSV-BK | ABi 0/16 S | 3 | 28,37 | 27,72 | 0,919 | 1,300 | 3,601 | 4,93 | 4,92 | 0,021 | 0,030 | 0,083 |
| | | 3 | 27,07 | | | | | 4,90 | | | | |
| WSV-BK | ABi 0/22 S | 3 | 23,67 | 23,82 | 0,212 | 0,300 | 0,831 | 3,93 | 3,97 | 0,050 | 0,070 | 0,194 |
| | | 3 | 23,97 | | | | | 4,00 | | | | |
| WSV-BK | AB 0/11 S | 3 | 19,83 | 20,07 | 0,332 | 0,470 | 1,302 | 5,83 | 5,87 | 0,050 | 0,070 | 0,194 |
| | | 3 | 20,30 | | | | | 5,90 | | | | |
| WSV-BK | ATS 0/32 CS | 3 | 10,33 | 10,45 | 0,170 | 0,240 | 0,665 | 4,07 | 4,12 | 0,071 | 0,100 | 0,277 |
| | | 3 | 10,57 | | | | | 4,17 | | | | |

| Art der Probe | Mischgutsorte | Füllergehalt [M.-%] | Sandgehalt [M.-%] | Splittgehalt [M.-%] | Grobkorn-anteil [M.-%] | Bindemittel-gehalt [M.-%] |
|---------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| Mischgut* | SMA 0/11 S | 12,8 | 8,1 | 79,1 | 49,5 | 6,7 |
| Mischgut* | ABi 0/16 S | 7,0 | 18,2 | 74,8 | 30,5 | 4,9 |
| Mischgut* | ABi 0/22 S | 7,5 | 17,9 | 74,6 | 32,5 | 4,0 |
| Mischgut* | AB 0/11 S | 8,9 | 37,4 | 53,7 | 23,3 | 5,9 |
| Mischgut* | ATS 0/32 CS | 7,3 | 17,9 | 74,8 | 17,3 | 4,2 |

* Mischgutkonzeption präparativ zusammengesetzter Proben

Lebenslauf

Persönliche Daten

Geburtsdatum und -ort: 12. Juli 1972 in Diez
Familienstand: verheiratet, zwei Kinder

Schulbildung

1979 – 1983 Grundschule in Aarbergen
1983 – 1992 Tilemannschule Gymnasium in Limburg a. d. Lahn
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Grundwehrdienst

1992 – 1993 Wehrpflichtiger

Studium

1993 – 2000 Studiengang Bauingenieurwesen an der
Technischen Universität Darmstadt
Abschluss: Diplom-Ingenieur

Beruflicher Werdegang

2000 – 2005 Institut für Verkehr, Fachgebiet Straßenwesen mit
Versuchsanstalt der Technischen Universität Darmstadt
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

seit 2005 Basalt-Actien-Gesellschaft, Linz am Rhein
Vorstandsassistent
seit 2007: Handlungsbevollmächtigter Bereich Ausland

